

Trabajo Fin de Grado
Grado en ingeniería de las tecnologías
industriales

Diseño de celda robótica bajo normativa de
seguridad en maquinaria

Autor: Emilio Expósito Padilla

Tutor: Dr. Luís Fernando Castaño Castaño

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo fin de grado
Grado en ingeniería de tecnologías industriales

Diseño de celda robótica bajo normativa de seguridad en maquinaria

Autor:
Emilio Expósito Padilla

Tutor:
Dr. Luis Fernando Castaño Castaño

Dpto. de ingeniería de sistemas y automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Trabajo fin de grado: Diseño de celda robótica bajo normativa de seguridad en maquinaria

Autor: Emilio Expósito Padilla

Tutor: Dr. Luis Fernando Castaño Castaño

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A Emilio, Rosa y Carolina

A mis amigos

Y a mis compañeros de trabajo

Agradecimientos

Se necesita tiempo para realizar las tareas, pero nunca se tiene la sensación de haberlo perdido cuando haces lo que te apasiona.

Después de años estudiando y formándome como ingeniero y como persona, puedo agradecer de corazón a todas aquellas personas que se han cruzado durante este camino y me han ayudado a mejorar.

Éste es un trabajo que culmina una etapa y que da pie a otra nueva en la que seguirá presente el esfuerzo, la superación y las ganas de vivir.

La recompensa del trabajo bien hecho es la oportunidad de hacer más trabajo bien hecho.

Emilio Expósito.

Sevilla, 2018

Resumen

El proyecto “Diseño de celda robótica bajo normativa de seguridad en maquinaria” es un proyecto de desarrollo y aplicación de normativas y dispositivos relacionados con la seguridad.

Este proyecto de desarrollo consta de tres partes diferenciadas. En la primera de ellas se aplica la normativa de directiva de máquinas de la UE para realizar un análisis funcional de una instalación robótica. En la segunda, a partir del análisis realizado, se realiza una propuesta sobre dispositivos especializados en seguridad para conseguir reducir los riesgos encontrados en la instalación. Por último, en la tercera parte, se genera un diseño virtual 3D de la instalación robótica final propuesta.

En la primera parte se puede encontrar información sobre normativa como la EN ISO 13849 y el Real Decreto 1215, la evaluación de riesgos de la instalación y el uso del software SISTEMA.

En la segunda, se habla detalladamente sobre los dispositivos de seguridad, la programación del autómata de seguridad que se encuentra en la instalación, el conexionado eléctrico entre los dispositivos y la oferta de los dispositivos del proyecto.

En la tercera se incluyen los planos de la celda robótica diseñada en tres dimensiones desde las diferentes perspectivas en formato realista e incluyendo el dimensionado de la misma.

La finalidad del proyecto es informar sobre normativa aplicable en seguridad de maquinaria a la vez que se desarrolla un proyecto real de una celda robótica que cumpla con los mínimos de seguridad para su uso.

Abstract

The project "Robotic cell design under safety regulations in machinery" is a project of development and application of regulations and devices related to safety.

This development project consists of three different parts. In the first one, the EU machine directive regulation is applied to perform a functional analysis of a robotic installation. In the second, based on the analysis carried out, a proposal is made on specialized safety devices to reduce the risks found in the installation. Finally, in the third part, a 3D virtual design of the proposed final robotic installation is generated.

In the first part you can find information on regulations such as EN ISO 13849 and Royal Decree 1215, the risk assessment of the installation and use of the SISTEMA software.

In the second one, we talk in detail about the security devices, the programming of the security automaton that is in the installation, the electrical connection between the devices and the offer of the project's devices.

The third one includes the plans of the robotic cell designed in three dimensions from the different perspectives in realistic format and including the dimensioning of it.

The purpose of the project is to inform about applicable regulations in machine safety while developing a real project of a robotic cell that meets the safety minimums for its use.

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	12
Índice	13
Índice de Figuras	15
1 Normativa de directiva de máquinas en la Unión Europea	18
1.1 Introducción.....	18
1.2 Directiva en la Unión Europea.....	18
1.3 Normativas armonizadas.....	18
1.4 Requisitos esenciales del Real Decreto 1215.....	20
1.5 Norma EN ISO 13849.....	21
1.5.1 Introducción.....	21
1.5.2 Composición de la norma.....	21
1.5.3 Diferencias entre PL y SIL. Elección de la tecnología.....	21
1.5.4 Niveles de Performance Level.....	22
1.6 Evaluación de riesgos de nuestra instalación.....	23
1.6.1 Introducción a la evaluación de riesgos.....	23
1.6.2 ¿Cómo llegamos al nivel requerido?.....	24
1.6.3 Cálculos de riesgos para el diseño de la celda robótica	24
2 Seguridad en celda robótica.....	36
2.1 Dispositivos de seguridad de la celda robótica.....	36
2.1.1 Autómata de seguridad	36
2.1.2 Pulsadores de emergencia	40
2.1.3 Cerradura de seguridad.....	40
2.1.4 Cortina fotoeléctrica	41
2.1.5 Vallado de seguridad	42
2.2 Programación de seguridad.....	42
2.3 Diagramas de conexión.....	50
2.4 Comunicación con el robot.....	58
2.4.1 Seguridad del controlador IRC5	58
2.4.2 Configuración del IRC5	58
2.4.3 SafeMove	59
2.5 Oferta del proyecto	59
3 Diseño 3d celda robótica	62
3.1 Introducción sobre el diseño de la celda.....	62
3.2 Vistas de la celda robótica	62
3.3 Pliego de condiciones	74
3.4 Descarga de archivos	78
4 Bibliografía.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimiento generación informe de seguridad	23
Figura 2 - Determinación PLr	24
Figura 3 - SISTEMA. Pantalla principal	25
Figura 4 - SISTEMA. Pantalla de la función de seguridad	26
Figura 5 - SISTEMA. Pantalla para determinar PLr	26
Figura 6 - SISTEMA. Pantalla para seleccionar PL y Cat	27
Figura 8 - Report software SISTEMA pág 1	28
Figura 9 - Report software SISTEMA pág 2	29
Figura 10 - Report software SISTEMA pág 3	30
Figura 11 - Report software SISTEMA pág 4	31
Figura 12 - Report software SISTEMA pág 5	32
Figura 13 - Report software SISTEMA pág 6	33
Figura 14 - Report software SISTEMA pág 7	34
Figura 15 - Report software SISTEMA pág 8	35
Figura 16 - Pluto S20 v2	36
Figura 17 - Celda robotizada con RT9	37
Figura 18 - Conexión celda robotizada con RT9	37
Figura 19 - Celda robotizada con Pluto	38
Figura 20 - Conexión de dispositivos en celda robotizada con Pluto	39
Figura 21 - Tren de pulsos	39
Figura 22 - Paro de emergencia Smile 11 EA	40
Figura 23 - Dispositivo Tina 4A	40
Figura 24 - Cerradura de seguridad Knox	40
Figura 25 - Posiciones de la cerradura	41
Figura 26 - Pulsador Smile	41
Figura 27 - Orion1	41
Figura 28 - Resolución cortina fotoeléctrica	42
Figura 29 - Colocación cortina fotoeléctrica	42
Figura 30 - Vallado de seguridad en industria	42
Figura 31 - Report Pluto Manager pág 1	43
Figura 32 - Report Pluto Manager pág 2	44
Figura 33 - Report Pluto Manager pág 3	45
Figura 34 - Report Pluto Manager pág 4	46
Figura 35 - Report Pluto Manager pág 5	47
Figura 36 - Report Pluto Manager pág 6	48
Figura 37 - Report Pluto Manager pág 7	49
Figura 38 - Conexión cerradura de seguridad	51

Figura 39 - Descripción de procesos en cerradura de seguridad	52
Figura 40 - Conexión cortina de seguridad	53
Figura 41 - Descripción de procesos cortina de seguridad	54
Figura 42 - Conexión pulsadores de emergencia	55
Figura 43 - Descripción de procesos pulsadores de emergencia	56
Figura 44 - Conexión Pluto - Robot	57
Figura 45 - Lista de material de seguridad	60
Figura 46 - Lista material vallado de seguridad	61
Figura 47 - Vistas 3D de la celda	63
Figura 48 - Vista isométrica SO	64
Figura 49 - Vista frontal	65
Figura 50 - Vista perfil izquierdo	66
Figura 51 - Vista superior	67
Figura 52 - Colocación de dispositivos	68
Figura 53 - Vistas acotadas general	69
Figura 54 - Vista en planta acotada	70
Figura 55 - Vista en alzado acotada	71
Figura 56 - Vista perfil izquierdo acotada	72
Figura 57 - Vista trasera acotada	73
Figura 58 - Dimensiones del robot IRB120	75
Figura 59 - Rango de movimiento del robot IRB120	76
Figura 60 - Especificaciones de la mesa	77

1 NORMATIVA DE DIRECTIVA DE MÁQUINAS EN LA UNIÓN EUROPEA

1.1 Introducción

La directiva de máquinas es la encargada de regular que las máquinas diseñadas, construidas y utilizadas en la Unión Europea cumplan los mínimos de seguridad.

En esta sección se hablará sobre el marcado CE, las leyes y las normativas armonizadas que se aplican.

Primero, hay que diferenciar que existen dos ámbitos de aplicación distintos. La normativa para fabricantes de maquinaria y la normativa para el consumidor/cliente de dicha máquina.

1.2 Directiva en la Unión Europea

Los fabricantes de maquinaria deberán seguir la directiva de máquinas **2066/42/EC** de la Unión Europea.

Esta directiva de máquina se ha traspuesto en España como ley de obligado cumplimiento, el **Real Decreto 1644/2008**.

Son los fabricantes los que se auto certifican el marcado CE en maquinaria, sin embargo, esto no quiere decir que una máquina con marcado CE sea segura. Es el consumidor el máximo responsable de la aplicación que se le da a dicha maquinaria y máximo responsable en caso de accidente. Consecuentemente, será el encargado de cerciorarse que cumple detalladamente las características de seguridad, más allá de si ésta posee el marcado CE.

Los compradores de máquinas deben saber que, según el **Real Decreto 1215**, “cualquier máquina debe ser adecuada al puesto de trabajo e industria”. De modo que, en algunos casos, se deberán aplicar medidas más rigurosas. Por ejemplo, en algunos sectores como en el alimenticio, cosmético, o farmacéutico hay requisitos esenciales complementarios que se deben añadir a los convencionales.

Así pues, el comprador además de contrastar las características de la adquisición (y comprobar que efectivamente tiene marcado CE), debe realizar la adecuación, ya que en función del entorno dónde opere, la máquina tendrá unos riesgos u otros. Y es que, según el Real Decreto 1644/2008, solo el tipo de máquinas que aparecen en su Anexo IV están obligadas a recibir y superar una auditoría, a ser certificadas por un Organismo Notificado. En el resto de los casos, son los propios fabricantes los que se “auto-implementan” el marcado CE, afirmando que la máquina cumple con los mínimos de seguridad requeridos para su puesta en marcha en la Unión Europea.

1.3 Normativas armonizadas

Asimismo, el Real Decreto 1644 no explica detalladamente qué medidas implementar, para eliminar o disminuir estos riesgos, por lo menos no desde un punto de vista técnico. Para eso existen las normativas armonizadas, que aportan información técnica adicional, que no aparece en el Real Decreto 1644/2008. Por ejemplo, la norma **ISO 12100** guía en la evaluación de riesgos, así como la **ISO 13849** la determinación de la escala del nivel de riesgo, entre otros aspectos. Aunque las normativas armonizadas no son de obligado cumplimiento, se presupone que, si se cumple con las normativas armonizadas pertinentes, se estará cumpliendo la ley, ya que se habrán reunido las condiciones técnicas que garantizan su cumplimiento.

Las normativas más importantes y más comunes en el día a día son:

- ISO 12100: Principios generales para el diseño, evaluación y reducción de riesgos. Es una normativa tipo A, fundamental, que aplica a cualquier tipo de máquina, y se centra en evaluar los riesgos de las máquinas, para a partir de ahí poner las medidas, es decir, desde el diseño de la máquina y no una vez que la máquina está construida.

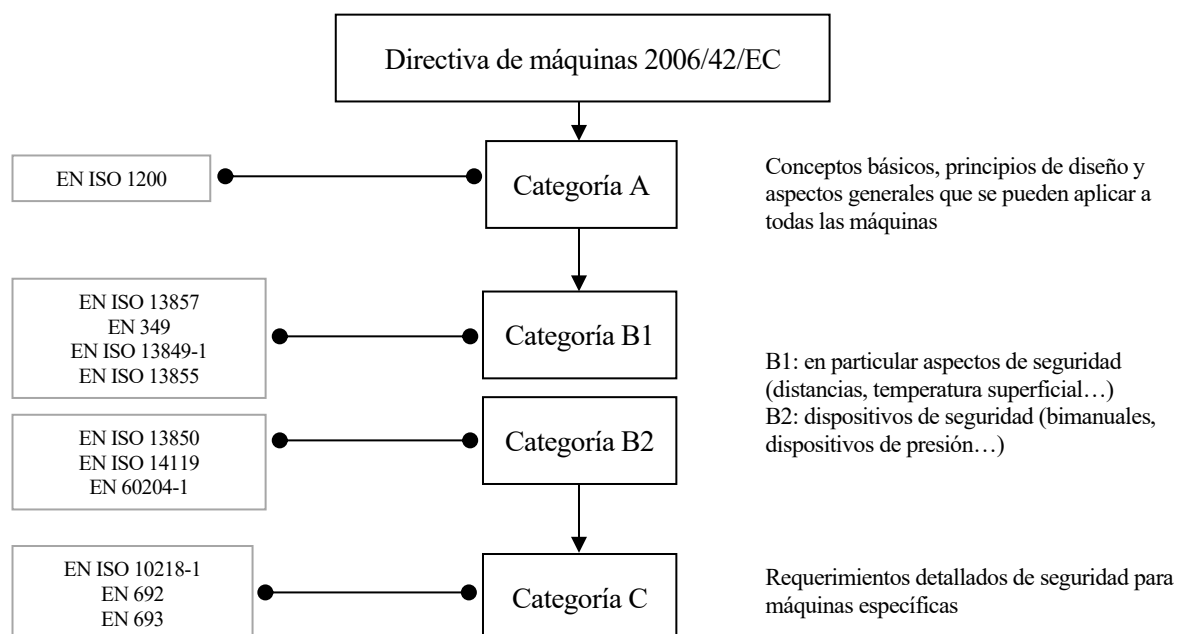
Para la medida de los riesgos se siguen escalas cualitativas, que están marcadas en las siguientes normativas de tipo B:

- ISO 13849: Parte de los sistemas de mando relativos a la seguridad (PL a-e). Válida para cualquier tipo de tecnología, mecánica, eléctrica, neumática...
- IEC EN 62061: Seguridad relacionada con sistemas de control eléctricos, electrónicos y programables (SIL 1-3).

En tercer lugar, están las normativas para aplicar medidas de seguridad. Éstas indican cómo se deben insertar y adecuar ciertas medidas de seguridad a la máquina. Son también de tipo B y las más populares son:

- ISO 13855: Sobre posicionamiento de los dispositivos de protección en función de la velocidad de aproximación de partes del cuerpo humano.
- ISO 13857: Sobre distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores.
- ISO 14119: Sobre dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos móviles.

Por último, cabe mencionar la existencia de normas específicas para algunos tipos de máquinas, debido a su peligrosidad. Éstas normas son de tipo C.



1.4 Requisitos esenciales del Real Decreto 1215

Los principales requisitos marcados en el RD son los siguientes:

1. Evaluación de riesgos desde el diseño: siguiendo la ISO 12100.
2. Aplicar requisitos esenciales y tomar medidas: los encontramos en la ISO 13849, ISO 13855...
3. Principios de integración de la seguridad: ergonomía, EPIs necesarios... Esta información se encuentra en el Real Decreto 1644.
4. Elaboración de un manual de instrucciones.
5. Elaboración de un expediente técnico.

Una vez se obtiene el marcado CE ya se podrá comercializar la máquina en la Unión Europea.

Se señalan ahora una serie de extractos del RD 1215 que han sido considerados para el diseño de la instalación:

Real Decreto 1215

Así, son las normas de desarrollo reglamentario las que deben fijar las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre ellas se encuentran las destinadas a garantizar que de la presencia o utilización de los equipos de trabajo puestos a disposición de los trabajadores en la empresa o centro de trabajo no se deriven riesgos para la seguridad o salud de los mismos.

Disposiciones mínimas generales aplicables a los equipos de trabajo... El trabajador expuesto deberá disponer del tiempo y de los medios suficientes para sustraerse rápidamente de los riesgos provocados por la puesta en marcha o la detención del equipo de trabajo... Cada equipo de trabajo deberá estar provisto de un órgano de accionamiento que permita su parada total en condiciones de seguridad.... Si fuera necesario para la seguridad o salud de los trabajadores, los equipos de trabajo y sus elementos deberán estar estabilizados por fijación o por otros medios.

Cuando los elementos móviles de un equipo de trabajo puedan entrañar riesgos de accidente por contacto mecánico deberán ir equipados con resguardos o dispositivos que impidan el acceso a las zonas peligrosas o que detengan las maniobras peligrosas antes del acceso a dichas zonas... No deberá ser fácil anularlos o ponerlos fuera de servicio... No deberán limitar más de lo imprescindible o necesario la observación del ciclo de trabajo... Los dispositivos de alarma del equipo de trabajo deberán ser perceptibles y comprensibles fácilmente y sin ambigüedades.

Todo equipo de trabajo deberá ser adecuado para proteger a los trabajadores expuestos contra el riesgo de contacto directo o indirecto con la electricidad. En cualquier caso, las partes eléctricas de los equipos de trabajo deberán ajustarse a lo dispuesto en la normativa específica correspondiente.

Disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo para elevación de cargas... Los equipos de trabajo para la elevación de cargas deberán estar instalados firmemente cuando se trate de equipos fijos.

Condiciones generales de utilización de los equipos de trabajo... Los equipos de trabajo se instalarán, dispondrán y utilizarán de modo que se reduzcan los riesgos para los usuarios

del equipo y para los demás trabajadores. En su montaje se tendrá en cuenta la necesidad de suficiente espacio libre entre los elementos móviles de los equipos de trabajo y los elementos fijos o móviles de su entorno... Los trabajadores deberán poder acceder y permanecer en condiciones de seguridad en todos los lugares necesarios

Estos son algunos fragmentos importantes que están muy relacionados con los riesgos y las medidas tomadas para la reducción y eliminación de riesgos en nuestra instalación. Dichos riesgos están analizados en el apartado [1.6 Evaluación de riesgos de nuestra instalación](#).

1.5 Norma EN ISO 13849

1.5.1 Introducción

Las normas de seguridad en sistemas de control avanzan a la vez que avanzan los nuevos conceptos en las nuevas tecnologías. Con el tiempo, la norma **EN 954-1**, basada en categorías de seguridad, se va abandonando y comienza a sustituirse por las nuevas normativas **EN ISO 13849-1** y la **EN 62061**.

La primera de ellas ha sido preparada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) en colaboración con el organismo internacional ISO (International Organization for Standardization) y será la norma a la que se hará referencia en la mayor parte del proyecto.

Dicha norma está clasificada como de tipo B1:

Normas de tipo B (normas de seguridad relativas a una materia) que tratan de un aspecto de seguridad o de un tipo de protección que condiciona la seguridad, que son válidas para una amplia gama de máquinas. En especial, las de tipo B1, que tratan de aspectos particulares de la seguridad (por ejemplo, distancias de seguridad, temperatura superficial, ruido, etc.)

1.5.2 Composición de la norma

La norma se compone de tres partes:

1. EN ISO 13849-1:2006 – Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relativas a seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.

Pensada como la sustitución de la anterior EN 954-1:1996, esta norma es una revisión de la primera versión ISO 13849-1:1999 a la que cancela y reemplaza.

2. EN ISO 13849-2:2004 – Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relativas a seguridad. Parte 2: Validación.

Especifica los procedimientos a seguir para la validación por análisis y ensayo de las funciones de seguridad y las categorías del sistema de mando.

3. ISO/TR 13849-100 – Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relativas a seguridad. Parte 100: Guía para la utilización y la aplicación de la norma ISO 13849-1 [Technical Report].

Da consejos para evitar malas interpretaciones de su norma relacionada.

Es el 31 de diciembre de 2011 fue la fecha tope para dejar de utilizar la EN 954-1. Momento en el cual fabricantes y usuarios de máquinas dejan de hacer referencia a esta norma para ceñirse únicamente a las sucesoras.

1.5.3 Diferencias entre PL y SIL. Elección de la tecnología

Estas siglas son usadas de manera usual cuando se habla de normativa de maquinaria, pero, ¿qué significan cada una de ellas?

Las siglas del inglés PL (Performance Level) – Nivel de Prestaciones y SIL (Safety Integrity Level) – Nivel de Integridad de Seguridad aportan una primera idea sobre la diferencia entre ellas.

PL es un concepto neutro en cuanto a tecnología que puede utilizarse en soluciones de seguridad eléctricas, mecánicas, neumáticas e hidráulicas.

No obstante, SIL sólo puede utilizarse en soluciones de seguridad eléctricas, electrónicas o programables.

1.5.4 Niveles de Performance Level

PL es una medida de la fiabilidad de una función de seguridad. PL se divide en cinco niveles (de la a hasta la e). PL e aporta la mayor fiabilidad y equivale a aquella necesaria cuando el nivel de riesgo es máximo.

Para calcular qué nivel alcanza el sistema PL, se debe conocer lo siguiente:

- La estructura del sistema (categorías B, 1-4).
- El tiempo medio hasta fallo peligroso del componente (MTTFd).
- La cobertura del diagnóstico del sistema (DC).

También se deberá:

- Proteger el sistema contra un fallo que anula ambos canales (CCF).
- Proteger el sistema contra errores sistemáticos integrados en el diseño.
- Seguir ciertas reglas para garantizar que el software puede desarrollarse y validarse de forma adecuada.

Los cinco niveles PL (a-e) corresponden a determinados rangos de valores PFHD (probabilidad de fallo peligroso por hora). Indican la probabilidad de que pueda producirse un fallo peligroso en el periodo de una hora.

En el cálculo del nivel, es recomendable usar valores PFHD directamente, dado que PL es una simplificación que no proporciona resultados tan precisos.

1.5.4.1 Términos especificados en EN ISO 13849-1

- PL: Nivel de prestaciones dividido desde “a” hasta “e”.
- PL r: Nivel de prestaciones requerido (para una función de seguridad en particular).
- MTTFd: El tiempo medio hasta fallo peligroso se divide en Bajo, Medio y Alto.
- B10d: Número de ciclos hasta que el 10% de los componentes sufre un fallo peligroso (para componentes neumáticos y electromecánicos).
- T10d: Tiempo medio hasta que el 10% de los componentes sufre un fallo peligroso (El tiempo de funcionamiento de componentes se limita a T10d).
- CCF: Fallo de causa común.
- DC: Cobertura del diagnóstico dividida en Baja, Media y Alta.
- PFHD: Probabilidad de fallo peligroso por hora (probabilidad media de fallo peligroso por hora)

1.5.4.2 ¿Cuál es la manera más sencilla de cumplir la norma?

1. Utilizar componentes precalculados.

En la medida de lo posible, se deberán utilizar los componentes con valores PL y PFHD precalculados. Esto permitirá minimizar el número de cálculos a realizar.

2. Utilizar la herramienta de cálculo SISTEMA.

La aplicación freeware SISTEMA permite realizar los cálculos sobre las medidas de seguridad de manera sencilla. Además, ayuda a estructurar las soluciones de seguridad, facilitando la documentación necesaria.

3. Utilización de dispositivos diseñados especialmente para aplicaciones de seguridad.

Al utilizarlos será más sencillo el efectuar cálculos y garantizar un máximo nivel de seguridad.

1.6 Evaluación de riesgos de nuestra instalación

1.6.1 Introducción a la evaluación de riesgos

Existe la necesidad de evaluar cada uno de los peligros posibles y existentes en la instalación por separado. A cada uno de ellos hay que ponerle la medida de protección proporcional a la peligrosidad que conllevan.

Conforme el riesgo sea más severo, la medida de seguridad deberá ser más restrictiva, para llegar a un riesgo 0 o residual.

Es necesario realizar esto tanto para el uso previsto de la máquina como para el mal uso razonablemente previsible. Es decir, es esencial tomar en consideración que la fatiga, el estrés o la inexperiencia de los usuarios de la máquina (estudiantes, investigadores, profesorado...) pueden ocasionar situaciones de peligro.

Los pasos a seguir para realizar un informe de seguridad de máquinas son los siguientes:

Paso	Tarea
Paso 1: Evaluación y reducción de riesgos	Analizar riesgos y evaluar cómo eliminarlos o minimizarlos (estrategia en 3 pasos, véase la EN ISO 12100-1)
Paso 2: Establecimiento de los requisitos de la función de seguridad	Definir la funcionalidad y la prestación de seguridad necesarias para eliminar el riesgo o reducirlo hasta un nivel aceptable.
Paso 3: Implementación de la seguridad funcional	Diseñar y crear las funciones del sistema de seguridad
Paso 4: Verificación de la seguridad funcional	Garantizar que el sistema de seguridad cumple los requisitos definidos
Paso 5: Validación de la seguridad funcional	Volver a la evaluación de riesgos para asegurarse de que el sistema de seguridad realmente sirve para reducir los riesgos como se espera
Paso 6: Documentación de la seguridad funcional	Documentar el diseño y elaborar documentación para el usuario
Paso 7: Demostración de la conformidad	Demostrar la conformidad de la máquina con los EHRS de la Directiva Máquinas mediante evaluaciones de conformidad y documentos técnicos

Figura 1 - Procedimiento generación informe de seguridad

1.6.2 ¿Cómo llegamos al nivel requerido?

Para la evaluación de riesgos tenemos dos Performance Level (PL). El PL requerido y el PL de la medida. Teniendo que cumplirse siempre que $PL > PL_r$ para garantizar la seguridad.

Para esto es necesario realizar un análisis cualitativo respondiendo a una serie de preguntas que se resumen en la figura 2.

1. Gravedad del daño posible (G):

G1 – Lesión leve (hematomas, abrasiones, heridas punsantes, aplastamiento).

G2 – Lesión grave (lesiones esqueléticas, amputaciones, muerte).

2. Frecuencia de exposición al peligro (F):

F1 – Menos de una vez cada dos semanas.

F2 – Más de una vez cada dos semanas.

3. Posibilidad de evitar o limitar el peligro (P)

P1 – Posible en determinadas circunstancias.

P2 – Difícilmente evitable.

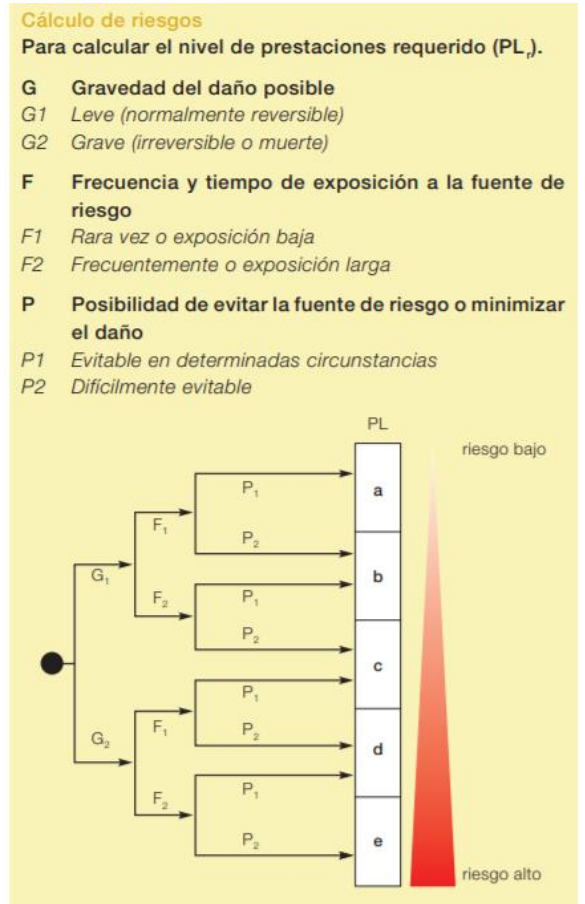


Figura 2 - Determinación PL_r

1.6.3 Cálculos de riesgos para el diseño de la celda robótica

Se considerará cada riesgo valorándolos por muy obvios o poco peligrosos que parezcan. Existen diferentes herramientas para facilitar la generación del informe de seguridad. Una de ellas es la del software SISTEMA, el cual se utilizará para realizar el informe del proyecto.

1.6.3.1 Software SISTEMA

SISTEMA (Sicherheit von Steuerungen an Maschinen) en español (Seguridad de mandos en máquinas), pretende ayudar a los usuarios de la nueva Norma ISO 13849-1 (revisión de EN 954).

Es un software desarrollado por la IFA (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance) (Institut Für Arbeitsschutz) en español, Instituto para la seguridad y la sanidad laboral.

Esta herramienta ofrece la posibilidad de simular la estructura de las partes relativas a la seguridad de los mandos de maquinaria utilizando las así denominadas "Arquitecturas tipo". Esto permite el cálculo automático de los resultados de su cuantificación.

SISTEMA determina los valores de CCF (Fallo de causa común en sistemas de canales múltiples), de DC-Value (Cobertura del diagnostico en sistemas testeados o monitorizados), PFH (la probabilidad de fallo peligroso por hora), PL (Nivel de prestación alcanzado) y PL_r (Nivel de prestación requerido) de una función de seguridad.

Se utiliza este software para determinar los riesgos de la aplicación y elegir los dispositivos más adecuados para la prevención de los riesgos existentes posibles.

El software se puede descargar de manera gratuita desde la página web oficial de la IFA en el siguiente [enlace](#).

1.6.3.2 Impacto brazo robótico:

En la instalación se encuentran dos brazos robóticos modelos IRB 120 del fabricante ABB que actualmente no disponen de ninguna protección de seguridad más allá de una seta de emergencia para cortar la alimentación de los motores del robot.

Además, se dispone de dos cintas transportadoras apoyadas en una mesa, que son utilizadas de manera colaborativa por los robots.

Para poder utilizar estos robots de forma segura, actualmente están limitados en velocidad para que su uso sea seguro para el alumnado.

Para conseguir sacar el máximo potencial a estos robots de manera segura, es necesario cumplir ciertas medidas de seguridad, que garanticen que el uso de ellos no supondrá ningún daño a los usuarios (estudiantes, investigadores, profesorado...).

Para cumplir con las medidas de seguridad necesarias, se emplearán dispositivos especialmente diseñados para aplicaciones de seguridad en celdas robotizadas. Esto significa que los certificados que cumplen y los principios de funcionamiento son tales que garanticen la seguridad del usuario.

Una vez se ha realizado el cálculo del nivel de riesgo del peligro mencionado con el software SISTEMA, se incluye el report generado por el software donde se recogen las funciones de seguridad y los subsistemas empleados relacionados con el informe de seguridad.

En dicho informe se recogen los procedimientos adoptados para eliminar los riesgos existentes. Se definen las funciones de los dispositivos de seguridad implantados y se verifica la seguridad funcional gracias a ellos. Además, se aporta toda la documentación del diseño, documentos técnicos y de conformidad, información y manuales sobre los dispositivos empleados para que puedan ser utilizados por el usuario.

Introducción de datos en el software SISTEMA

Una vez creado el proyecto de seguridad se debe insertar cada función de seguridad. De estas funciones de seguridad nacen los subsistemas de seguridad, definidos para eliminar los riesgos de la instalación.

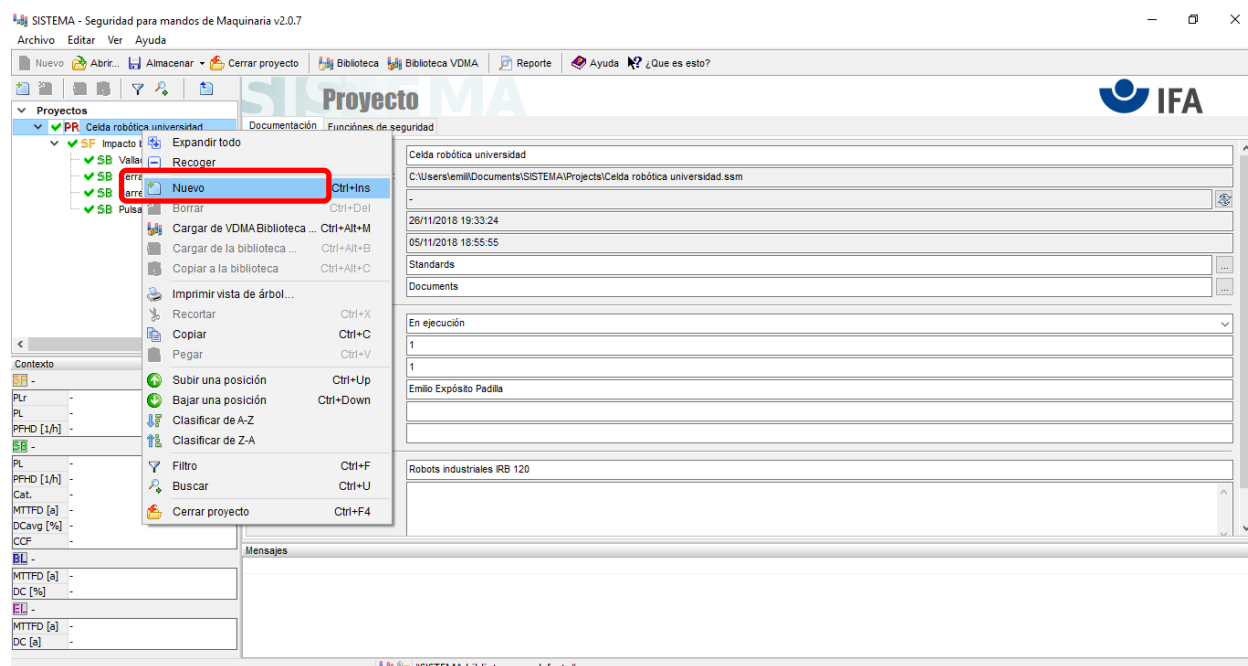


Figura 3 - SISTEMA. Pantalla principal

Cuando se define la función de seguridad y se introducen los datos descriptivos de la misma (con el fin de

informar a la persona que lee el documento de seguridad) se procede a definir las medidas tomadas para eliminar el riesgo.

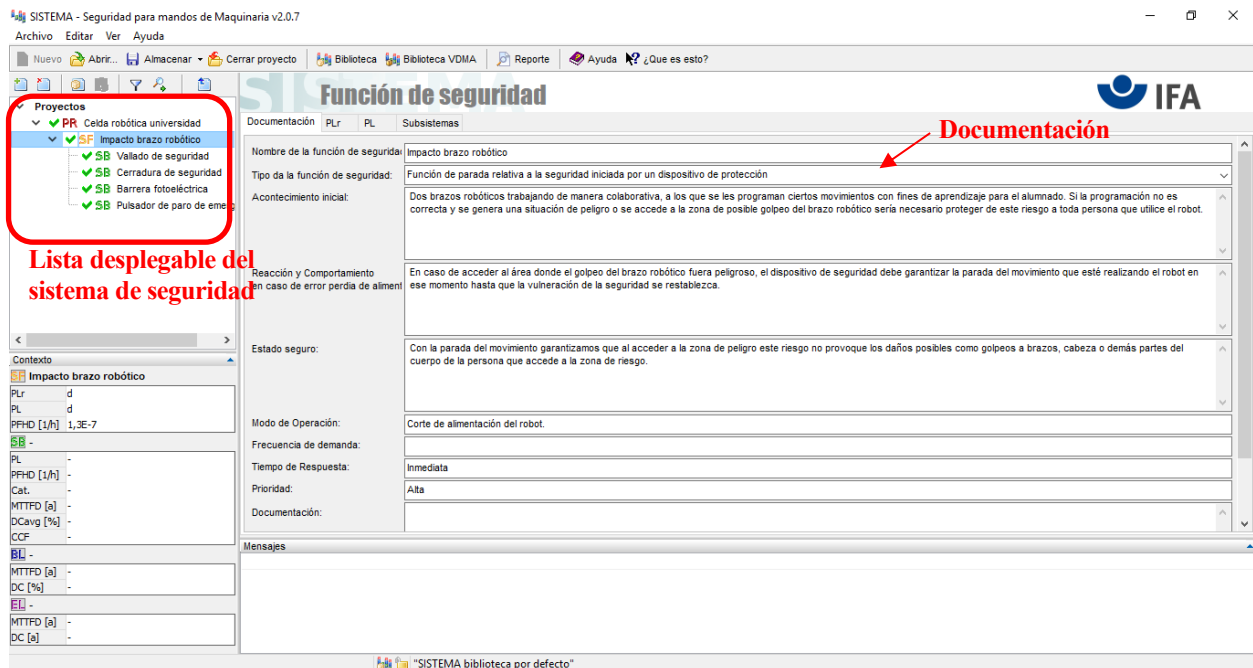


Figura 4 - SISTEMA. Pantalla de la función de seguridad

Se determina el nivel PL requerido según el gráfico de riesgo. El brazo robótico puede provocar mediante un impacto una lesión grave S2. El usuario se expone al riesgo de manera frecuente F2. Es posible evitar el riesgo o limitar el daño en determinadas condiciones siguiendo las medidas de seguridad adecuadas P1.

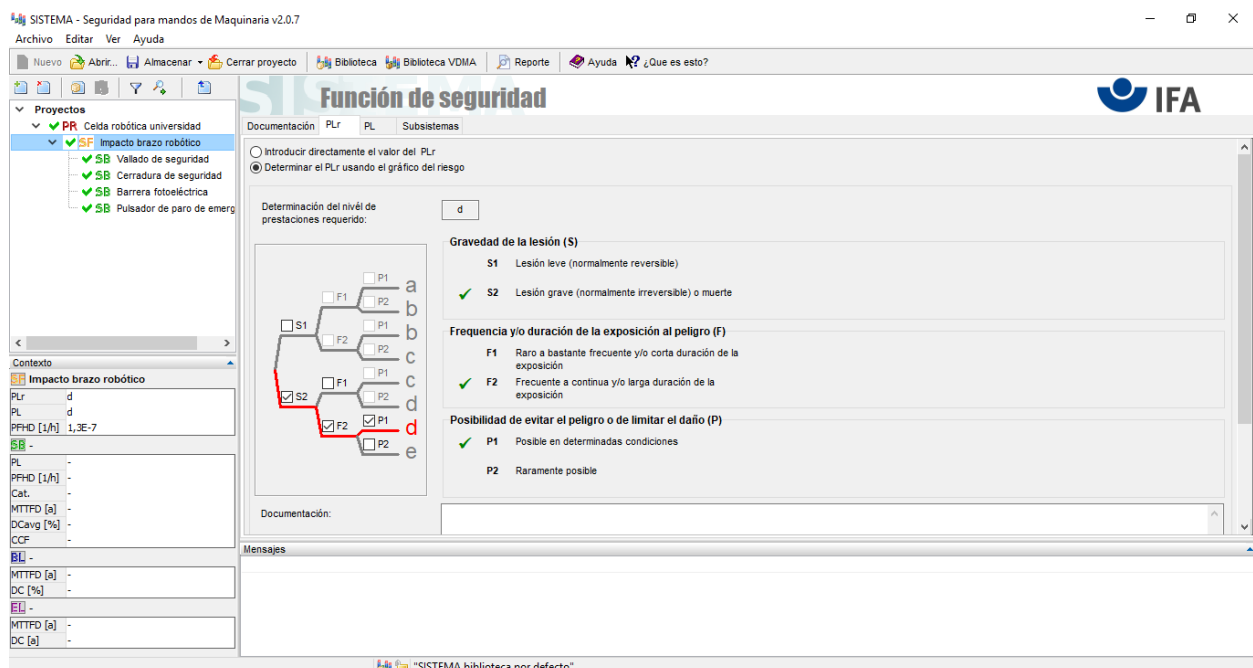


Figura 5 - SISTEMA. Pantalla para determinar PLr

Por último, se introduce la documentación sobre cada medida de seguridad. En este caso, los dispositivos de seguridad utilizados para eliminar los riesgos son suministrados por un fabricante especializado, el cual garantiza que los productos que hemos seleccionado cumplen los requisitos de PLr.

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria v2.0.7

Archivo Editar Ver Ayuda

Nuevo Abrir... Almacenar Cerrar proyecto Biblioteca Biblioteca VDMA Reporte Ayuda ¿Que es esto?

Subsistema IFA

Documentación PL Categoría

☒ Introducir directamente el PL/PFHD (El fabricante asegura el cumplimiento de los requisitos de la categoría e PL)
☐ Introducir directamente el SIL/PFHD (El fabricante asegura el cumplimiento de los requisitos de la SIL según EC 62061)
☐ Determinar el PL/PFHD a partir de la categoría, el MTTFD y el DCavg
☐ Determinar el PL/PFHD de la Categoría y DCavg (Metodo simplificado según la sección 4.5.5)

Nivel de prestación (PL): e PFHD [1/h]: 3,2E-8 ☐ Exclusión del defecto
 Software permitido hasta PL: n.a.
 Documentación:

Tiempo de utilización
 Tiempo de utilización: 20 a Tiempo mínimo de utilización: 20 a
 SISTEMA siempre asume 20 años para realizar los cálculos.

Mensajes

"SISTEMA biblioteca por defecto"

Proyectos
 ✓ PR Celda robótica universidad
 ✓ SF Impacto brazo robótico
 ✓ SB Vellado de seguridad
 ✓ SB Cerradura de seguridad
 ✓ SB Barrera fotoeléctrica
 ✓ SB Pulsador de paro de emerg

Contexto

Impacto brazo robótico

PLr d
 PL d
 PFHD [1/h] 1,3E-7
 SB Barrera fotoeléctrica
 PL e
 PFHD [1/h] 3,2E-8
 Cat. 3
 MTTFD [a] sin relevancia
 DCavg [%] sin relevancia
 CCF sin relevancia
 BU -
 MTTFD [a] -
 DC [%] -
 EU -
 MTTFD [a] -
 DC [a] -

Figura 6 - SISTEMA. Pantalla para seleccionar PL y Cat

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria



Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

PR Nombre del proyecto: Celda robótica universidad

Nombre del fichero de proyecto:	C:\Users\lemili\Documents\SISTEMA\Projects\Celda robótica universidad.ssm
Fecha de creación:	05/11/2018 18:55:55
Estado del Proyecto:	En ejecución
Numero de Proyecto:	1
Versión del Proyecto:	1
Autores:	Emilio Expósito Padilla
Managers del Proyecto:	
Inspectores:	
Area peligrosa / máquina:	Robots industriales IRB 120
Documentación:	
Documento:	
Versión del programa:	2.0.7 build 2
Versión de la Norma:	ISO 13849-1:2015, ISO 13849-2:2012
Checksum:	7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179
Opciones:	<input checked="" type="checkbox"/> Usar valores intermedios de DC para calcular el PFHD con mayor precisión <input type="checkbox"/> Rogamos disminuya la cobertura del MTTFD para categoria 4 de 2500 a 100 años.
Estado:	verde
Nota:	No existen mensajes registrados en este proyecto (o sus elementos básicos subordinados).

Opciones de Impresión

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar detalles de dispositivos | <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar requisitos en PL y Categoría |
| <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar documentación de SF, SB, BL y EL | <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar parametros documentales de PLr, PL, Category, CCF, MTTFD y DC |
| <input checked="" type="checkbox"/> Mostrar detalles de las medidas CCF y DC | <input type="checkbox"/> Mostrar mensajes |

Funciones de seguridad contenidas

SF Nombre: Impacto brazo robótico

Requerido: PLr d Encontrado: PL: d PFHD [1/h]: 1,3E-7 Estado: verde

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria



Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

SF función de seguridad: Impacto brazo robótico

Tipo de Función de seguridad:	Función de parada relativa a la seguridad iniciada por un dispositivo de protección
Iniciador de eventos:	Dos brazos robóticos trabajando de manera colaborativa, a los que se les programan ciertos movimientos con fines de aprendizaje para el alumnado. Si la programación no es correcta y se genera una situación de peligro o se accede a la zona de posible golpeo del brazo robótico sería necesario proteger de este riesgo a toda persona que utilice el robot.
Reacción y Comportamiento en caso de error perdida de alimentación:	En caso de acceder al área donde el golpeo del brazo robótico fuera peligroso, el dispositivo de seguridad debe garantizar la parada del movimiento que esté realizando el robot en ese momento hasta que la vulneración de la seguridad se restablezca.
Situación segura:	Con la parada del movimiento garantizamos que al acceder a la zona de peligro este riesgo no provoque los daños posibles como golpes a brazos, cabeza o demás partes del cuerpo de la persona que accede a la zona de riesgo.
Modo de Operación:	Corte de alimentación del robot.
Frecuencia de demanda:	
Tiempo de Respuesta:	Inmediata
Prioridad:	Alta
Documentación:	
Documento:	
<i>Determinación del nivel de prestaciones requerido función de seguridad</i>	
PLr (por gráfico del riesgo):	d
Gravedad de la lesión (S):	False Lesión grave (normalmente irreversible) o muerte
Frecuencia y/o duración de la exposición al	Frecuente a continua y/o larga duración de la exposición
Posible en determinadas condiciones (P):	Posible en determinadas condiciones
Gráfico del riesgo:	
Documentación:	
Documento:	

Nivel de prestación función de seguridad

PL alcanzado: d PFHD [1/h]: 1,3E-7

Estado / Mensajes función de seguridad

Estado: verde

Subsistemas (1 / 4)

SB Nombre: Vallado de seguridad

Referencia designador:

Numero de inventario:

Figura 8 - Report software SISTEMA pág 2

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria



Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

SF función de seguridad: Impacto brazo robótico

Detalles del Dispositivo Subsistema

Fabricant del Dispositivo:	ABB
Identificador del Dispositivo:	-
Grupo del Dispositivo:	Sistemas de vallado de seguridad
Numero de Parte:	Revisión:
Función:	<input checked="" type="checkbox"/> Entrada <input type="checkbox"/> Salida <input type="checkbox"/> Logica <input checked="" type="checkbox"/> desconocido
Caso de usuario:	Para evitar la aproximación a los brazos robóticos por áreas que no están controladas por dispositivos de seguridad se establecen una serie de medidas de seguridad físicas como son los vallados de acero. En ellos además, colocaremos los dispositivos de emergencia como son las cortinas en la parte frontal de la celda, o las setas de emergencia, para que queden a la vista y accesibles.

Descripción del caso usuario:

Documentación Subsistema

Documentación:
Documento:

Nivel de prestación Subsistema

PL determinado:	Introducir directamente el PL/PFHD (El fabricante asegura el cumplimiento de los requisitos de la categoría e PL)
PL:: e	Software permitido hasta PL: n.a.
PL alcanzado: e	PFHD [1/h]: 3,2E-8
Documentación:	
Tiempo de utilización [a]: 20	Tiempo mínimo de utilización [a]: 20

Categoría Subsistema

Cat.:	B
Requisitos de la categoría:	Cumplido
Requisitos de la categoría:	Cuando la categoría ha sido dada por el fabricante, este es responsable del cumplimiento de los requisitos pertinentes.
Documentación:	
Fuente (p.e. Norma) Categoría:	
Fecha del archivo:	

Estado / Mensajes Subsistema

Estado:	verde
---------	-------

Subsistemas (2 / 4)

SB Nombre: Cerradura de seguridad

Figura 9 - Report software SISTEMA pág 3

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria



Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

SF función de seguridad: Impacto brazo robótico

Referencia designador:	Numero de Inventario:
<i>Detalles del Dispositivo Subsistema</i>	
Fabricant del Dispositivo:	ABB
Identificador del Dispositivo:	2TLA020105R5000
Grupo del Dispositivo:	Cerradura de seguridad
Numero de Parte: KNOX 1A-R V2	Revisión:
Función:	<input checked="" type="checkbox"/> Entrada <input type="checkbox"/> Logica <input type="checkbox"/> Salida <input type="checkbox"/> desconocido
Caso de usuario:	En caso de querer acceder completamente a la celda robótica, para labores de mantenimiento o simplemente para poder hacer comprobaciones, recoger piezas que hayan caído, etc, dispondremos de una cerradura de seguridad que bloquea la puerta de acceso a la celda. Esta cerradura bloqueará el acceso mientras los robots estén en ejecución y permitirá el paso una vez estos estén detenidos.
Descripción del caso usuario:	Para reestablecer el funcionamiento es necesario que todos los usuarios se encuentren fuera de la celda robótica, la cerradura esté bloqueada, y se pulse el botón de rearme.
<i>Documentación Subsistema</i>	
Documentación:	
Documento:	..\Knox_Manual_(English)_ABB_rev-E_140806.pdf
<i>Nivel de prestación Subsistema</i>	
PL determinado:	Introducir directamente el PL/PFHD (El fabricante asegura el cumplimiento de los requisitos de la categoría e PL)
PL:: e	Software permitido hasta PL: n.a.
PL alcanzado: e	PFHD [1/h]: 3,2E-8
Documentación:	
Tiempo de utilización [a]: 20	Tiempo mínimo de utilización [a]: 20
<i>Categoría Subsistema</i>	
Cat.:	3
Requisitos de la categoría:	Cumplido
Requisitos de la categoría:	Cuando la categoría ha sido dada por el fabricante, este es responsable del cumplimiento de los requisitos pertinentes.
Documentación:	
Fuente (p.e. Norma) Categoría:	
Fecha del archivo:	
<i>Estado / Mensajes Subsistema</i>	
Estado:	verde

Figura 10 - Report software SISTEMA pág 4

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria



Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

SF función de seguridad: Impacto brazo robótico

Subsistemas (3 / 4)

SB Nombre: Barrera fotoeléctrica

Referencia designador:

Numero de Inventario:

Detalles del Dispositivo Subistema

Fabricant del Dispositivo:

ABB

Identificador del Dispositivo:

2TLA022303R0300

Grupo del Dispositivo:

Dispositivos de seguridad: Barreras fotoeléctricas

Numero de Parte: Orion1-4-30-060-E

Revisión:

Función:

☒ Entrada
☐ Salida

☐ Logica
☐ desconocido

Caso de usuario:

Para permitir la interacción entre los brazos robóticos y los usuarios, se colocarán unas cortinas fotoeléctricas. Los haces de las cortinas detectan cuando alguna parte del cuerpo humano atraviesa la barrera. Para permitir el acceso seguro a la zona de trabajo, dicho acceso debe realizarse con los robots parados.

Descripción del caso usuario:

En caso de acceder a la zona de peligro con los robots en movimiento, es decir, interrumpir los haces de luz de las cortinas, este dispositivo se encargará de mantener la seguridad deteniendo el movimiento de los robots. El autómata de seguridad al que estarán conectadas las cortinas permitirá la programación para que en caso de cortar el haz se ejecute un protocolo de seguridad que no necesariamente tiene por que ser el de parada del robot. Por ejemplo, que el movimiento no se detuviera, sino que se ralentizara.

Documentación Subistema

Documentación:

Documento:

..\Orion1 Base_Manual_(English)_ABB_rev B_ 150917.pdf

Nivel de prestación Subistema

PL determinado:

Introducir directamente el PL/PFHD (El fabricante asegura el cumplimiento de los requisitos de la categoría e PL)

PL:: e

Software permitido hasta PL: n.a.

PL alcanzado: e

PFHD [1/h]: 3,2E-8

Documentación:

Tiempo de utilización [a]: 20

Tiempo mínimo de utilización [a]: 20

Categoría Subistema

Cat.:

3

Requisitos de la categoría:

Cumplido

Requisitos de la categoría:

Cuando la categoría ha sido dada por el fabricante, este es responsable del cumplimiento de los requisitos pertinentes.

Documentación:

Figura 11 - Report software SISTEMA pág 5

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria



Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

SF función de seguridad: Impacto brazo robótico

Fuente (p.e. Norma) Categoría:

Fecha del archivo:

Estado / Mensajes Subsistema

Estado: verde

Subsistemas (4 / 4)

SB Nombre: Pulsador de paro de emergencia

Referencia designador:

Numero de Inventario:

Detalles del Dispositivo Subsistema

Fabricant del Dispositivo: ABB

Identificador del Dispositivo: 2TLA030050R0000

Grupo del Dispositivo: Dispositivos de paro de emergencia

Numero de Parte: Smile 11 EA Tina

Revisión:

Función:

☐ Entrada

☐ Logica

☐ Salida

☒ desconocido

Caso de usuario:

Pulsador de emergencia situado en partes accesibles para los usuarios que permiten el paro del movimiento del robot de forma segura en caso de emergencia.

Descripción del caso usuario:

Si ocurriera alguna situación en la que se necesitara parar el movimiento del robot, tendríamos de manera accesible estos pulsadores. Situaciones de peligro pueden ser golpes del brazo robótico contra mobiliario y personas por mala programación, atrapamientos, incendio...

Documentación Subsistema

Documentación:

Documento: ..\Smile_Tina_Manual_(English)_ABB_rev-D-150206.pdf

Nivel de prestación Subsistema

PL determinado: Introducir directamente el PL/PFHD (El fabricante asegura el cumplimiento de los requisitos de la categoría e PL)

PL:: e

Software permitido hasta PL: n.a.

PL alcanzado: e

PFHD [1/h]: 3,2E-8

Documentación:

Tiempo de utilización [a]: 20

Tiempo mínimo de utilización [a]: 20

Categoría Subsistema

Cat.: B

Requisitos de la categoría: Cumplido

Requisitos de la categoría: Cuando la categoria ha sido dada por el fabricante, este es responsable del cumplimiento de los requisitos pertinentes.

Figura 12 - Report software SISTEMA pág 6

SISTEMA - Seguridad para mandos de Maquinaria



Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

SF función de seguridad: Impacto brazo robótico

Documentación:

Fuente (p.e. Norma) Categoría:

Fecha del archivo:

Estado / Mensajes Subsistema

Estado: verde

Figura 13 - Report software SISTEMA pág 7

Nombre del proyCelda robótica universidad

Nombre del archivo: 26/11/2018 19:33:24 Fecha del reporte: 26/11/2018 Checksum: 7ed168bcf8f6a10d1c19acd393b9c179

Exoneración de responsabilidad

El software ha sido creado cuidadosamente de acuerdo con el estado de la ciencia y la técnica. Se proporcionará sin costo para el usuario.

La responsabilidad del IFA / DGUV frente a presuntas negligencias graves (§ 521 BGB) referente a defectos o deficiencias ocultas del producto están limitados legalmente (523, 524 BGB).

Die Haftung des IFAs/ DGUV ist damit auf Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit (§ 521 BGB) bzw. bei Sach- und Rechtsmängel auf arglistig verschwiegene Fehler beschränkt (523, 524 BGB).

El IFA se esfuerza en mantener su Homepage libre de virus informáticos, aunque no puede garantizar que el programa (Software) puesto a disposición y/o sus informaciones estén libres de virus informáticos. Se aconseja al usuario antes de descargar programas, documentos o informaciones tome las precauciones pertinentes (uso de escanadores de virus informáticos).

CONTACT

Instituto para la sanidad y seguridad laboral de la Mutua Alemana del seguro social de accidentes (IFA)
(Institute for Occupational Health and Safety of German Social Accident Insurance (IFA))
División 5: Prevención de accidentes / Seguridad de Productos
Alte Heerstr. 111, D-53754 Sankt Augustin Alemania
E-mail: sistema@dguv.de
www.dguv.de/ifa (Webcode e561582).

Fecha, firma del autor

Fecha, firma del revisor

2 SEGURIDAD EN CELDA ROBÓTICA

Una vez identificados los riesgos de la instalación y como prevenir situaciones de emergencia, se procede en este apartado a explicar qué dispositivos se utilizan y cómo se realiza su puesta en marcha.

2.1 Dispositivos de seguridad de la celda robótica

Todos los dispositivos de seguridad de la instalación son dispositivos disponibles en el portafolio de ABB, fabricante de productos eléctricos, entre otros panoramas de negocio, de los que se ha seleccionado la gama de productos destinados a la seguridad en maquinaria.

2.1.1 Autómata de seguridad

2.1.1.1 Pluto

Pluto es un sistema de seguridad All-Master para el control de circuitos de seguridad dinámicos y convencionales (estáticos). La ventaja que aporta Pluto es la posibilidad de conectar varios detectores de seguridad a una única entrada y alcanzar igualmente el máximo nivel de seguridad.

El software Pluto Manager permite la programación en lógica Ladder, con la que se puede definir el programa de ejecución que se lleva a cabo cuando una función de seguridad es vulnerada.

Con el mismo autómata de seguridad se puede gestionar la seguridad de todos los procesos de una celda de seguridad. Además, si se tratan de celdas de mayor tamaño, Pluto puede comunicarse con otros autómatas Pluto a través de un bus de seguridad, lo que garantiza que se puede lograr PLe en la instalación independientemente del número de dispositivos existentes.

Se ha seleccionado este autómata de seguridad porque, a pesar de poder lograr el mismo nivel de seguridad con varios relés de seguridad, esta solución es más compacta, más completa, ampliable y permite tener una mayor flexibilidad a la hora de ejecutar una lógica de procesos de seguridad en la instalación.

El dispositivo elegido es Pluto S20 v2 con referencia de producto 2TLA020070R4700.

2.1.1.2 Nuevo concepto de seguridad: Circuito Dinámico de Seguridad (CDS)

Para entender el CDS, primero se debe conocer cuál es el funcionamiento de los dispositivos de seguridad estáticos convencionales.

En la siguiente figura se muestra una aplicación de seguridad, donde la lógica la realiza un relé de seguridad RT9 de ABB, las entradas de seguridad son dos setas de emergencia y dos interruptores de bloqueo y las salidas de seguridad actúan sobre los contactores.



Figura 15 - Pluto S20 v2

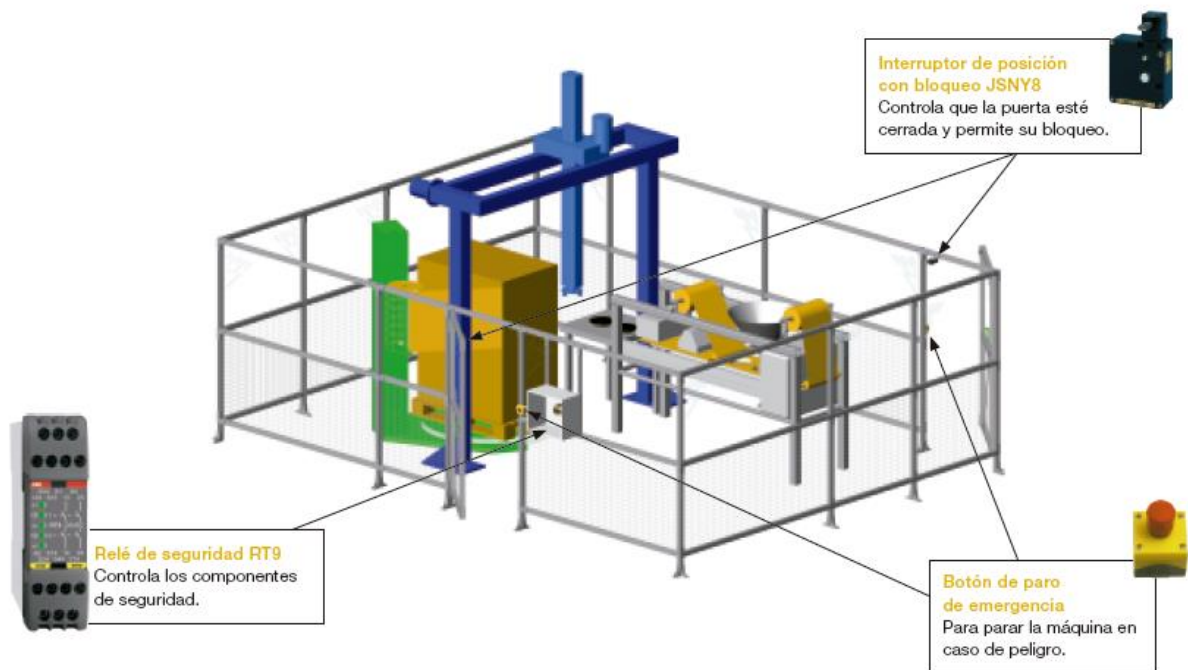


Figura 16 - Celda robotizada con RT9

El diagrama de conexionado sería el siguiente:

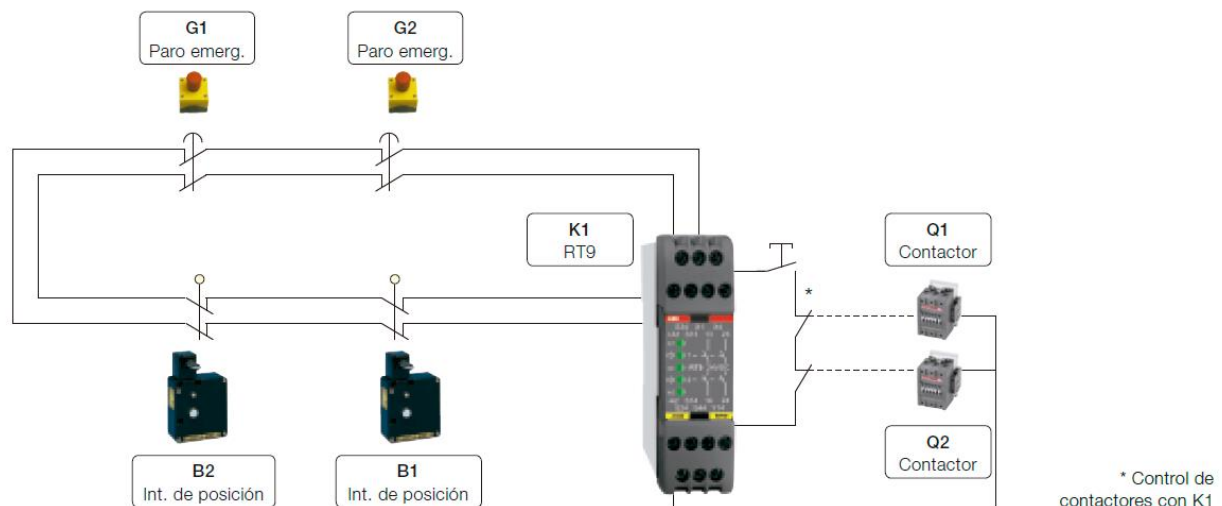


Figura 17 - Conexionado celda robotizada con RT9

Para que se puedan considerar dispositivos de seguridad convencionales, la señal de seguridad debe ir duplicada. Esto es debido a que la verificación de seguridad se realiza en ambos canales. Si la comprobación de la señal es válida, es decir, se verifica en ambos canales, la salida de seguridad seguirá cerrada o abierta según su principio de funcionamiento.

Esto permite que, por ejemplo, si en G1 los polos del canal 1 se quedan pegados y es necesario pulsar la seta de emergencia, se garantiza que a través del canal 2 le llega la señal de apertura al relé.

Pese a que esta solución es muy empleada en la industria, nace un concepto nuevo mucho más flexible y completo, el Circuito Dinámico de Seguridad.

El Circuito Dinámico de Seguridad es la respuesta al problema de alcanzar el máximo nivel de seguridad (PLE o SIL3), aunque se instalen en serie más de dos o tres elementos (paros de emergencia, interruptores bloqueo, cortinas fotoeléctricas, etc.) conectados a una entrada del relé o PLC de seguridad, al tiempo que se simplifica la instalación y se localiza visualmente y sin programación la acción que está parando la máquina y por tanto afectando a la producción.

- Hasta 30 dispositivos en serie con máximo nivel de seguridad (PLE/SIL3): Permite ampliar fácilmente la instalación garantizando el cumplimiento de la norma.

- No requiere programación. Aunque con el autómata Pluto se pueden ejecutar programas de seguridad.
- Todos los elementos disponen de un LED que identifica con verde/rojo o intermitente, dónde está la acción que impide la nueva puesta en marcha de la máquina en producción. Esto nos permite que, si tenemos 30 dispositivos en nuestra instalación, podamos comprobar de manera sencilla cuál es la medida de seguridad que está bloqueando el proceso.
- Cada dispositivo, es chequeado 200 veces/s, sin protocolos de comunicación, para identificar si todo está bien.
- Reducción de costes de instalación y simplificación de esquemas y cableados.

Vital y Pluto son dos dispositivos fabricados por ABB que funcionan con CDS. Los dispositivos de seguridad como las cortinas, paros de emergencia, etc, incorporan sensores con tecnología CDS. No obstante, existen también unos adaptadores Tina que convierten un dispositivo convencional en un dispositivo utilizable para CDS.

En la siguiente figura se muestra una celda robotizada cuya seguridad está gestionada por un único Pluto.

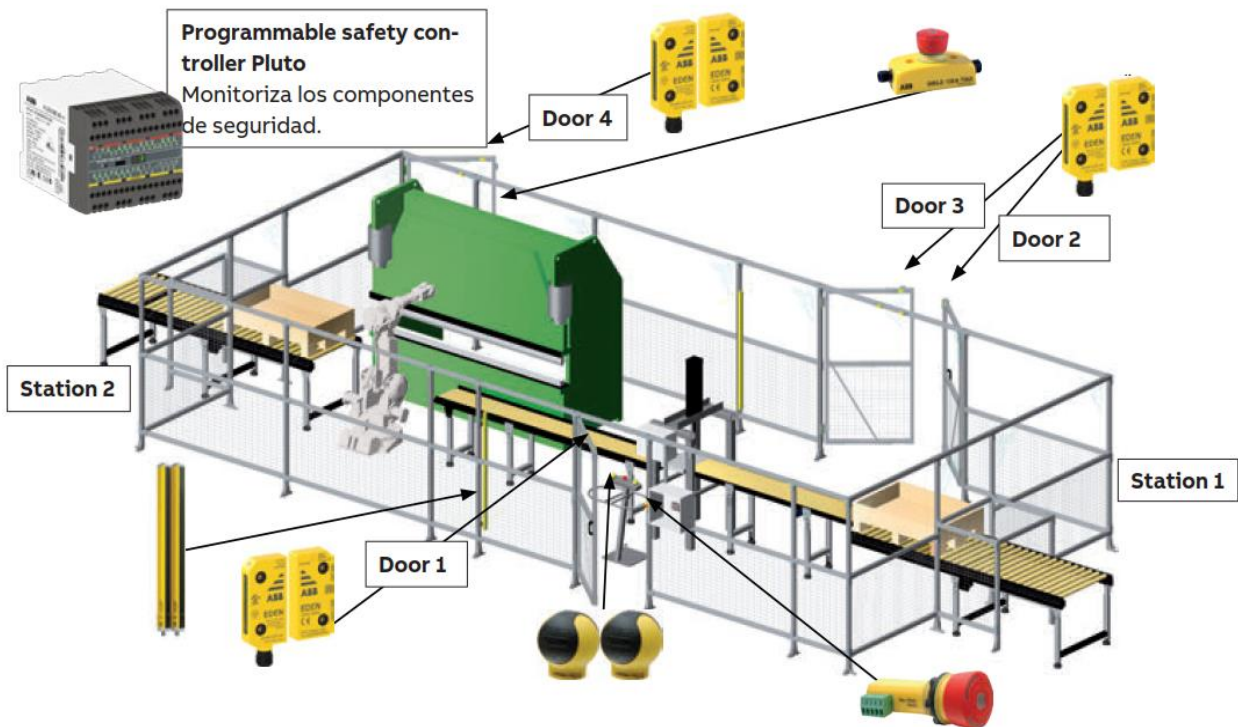


Figura 18 - Celda robotizada con Pluto

Las entradas del Pluto podrían conectarse de la siguiente manera.

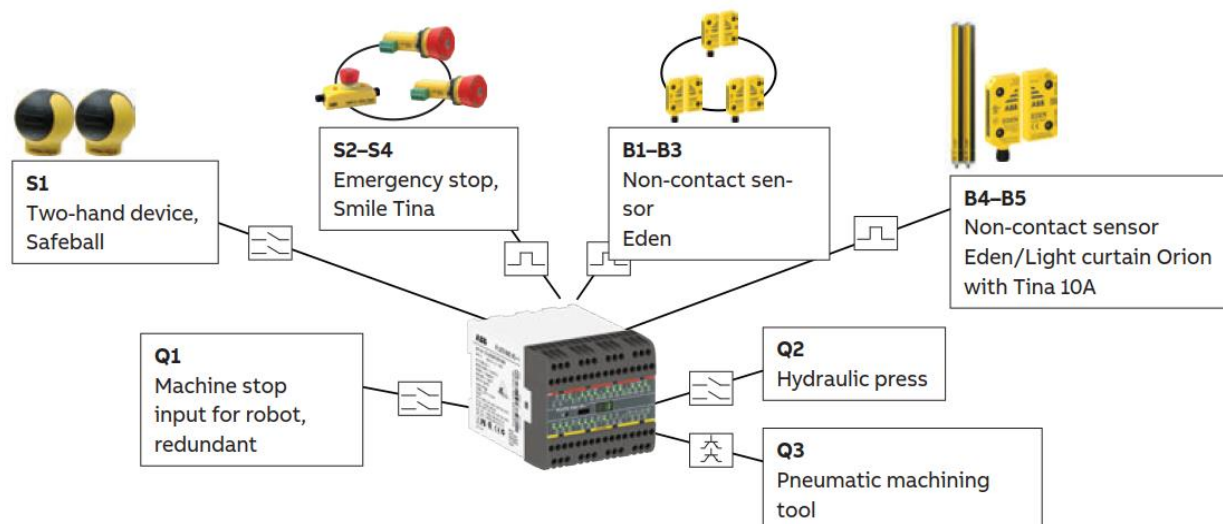


Figura 19 - Conexión de dispositivos en celda robotizada con Pluto

La instalación del proyecto consta de 3 setas de emergencia, una cerradura de seguridad y una barrera fotoeléctrica. Los dos primeros dispositivos van conectados cada uno a una salida de CDS del Pluto. Cada salida manda un tren de pulsos que se verifica 200 veces/s.

El sistema está diseñado para detectar posibles cortocircuitos en el cableado o en los sensores y comprueba constantemente que la señal que recibe desde el último dispositivo de seguridad es la correcta.

Pluto manda un pulso positivo a la primera seta de emergencia, si ésta no está pulsada, es decir, funcionara correctamente, invierte el pulso. La siguiente seta invierte el pulso de nuevo y la última lo mismo. En caso de que alguna de las tres no funcione correctamente, no invertirían el pulso que les llega, y la siguiente entraría en estado de emergencia, dando aviso de que la señal que recibe no es la correcta. La seta que se encuentra en modo de error lo señala con un LED de estado, lo que facilita la localización de fallos en instalaciones con muchos dispositivos de seguridad implantados.

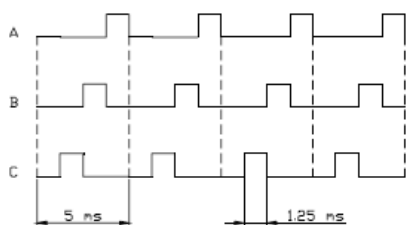


Figura 20 - Tren de pulsos

En la Figura 16 vemos la rutina de generación de tren de pulsos de las salidas dinámicas del Pluto.

2.1.1.3 Software Pluto Manager

La configuración de las entradas y salidas de seguridad del autómatas se gestionan a través del software Pluto Manager.

Se puede descargar el software en el siguiente [enlace](#).

En el apartado - [2.2 Programación de seguridad](#) - se encuentra toda la información sobre el código de seguridad diseñado para la instalación.

El manual de uso de Pluto Manager se puede descargar en el siguiente [enlace](#).

2.1.2 Pulsadores de emergencia

Los dispositivos de paro de emergencia se utilizan para permitir a cualquier persona detener la máquina si hay alguien en peligro.

La gama Smile de ABB consta de botones de parada de emergencia y de cajas de pulsadores. El paro de emergencia Smile es pequeño y fácil de instalar. El tamaño del dispositivo permite su instalación donde se desee. Es un dispositivo de fácil conexión y sus orificios de montaje centralizados facilitan su montaje en perfiles de aluminio.

El dispositivo seleccionado para la instalación es el paro de emergencia Smile 11 EA Tina con referencia 2TLA030050R0000.



Figura 21 - Paro de emergencia Smile 11 EA

Este paro de emergencia funciona con Circuito Dinámico de Seguridad. Como se ha explicado antes, al autómatas Pluto, se conectará un tren de pulsos que recorra todos los paros de emergencia.

Esto permite verificar el correcto funcionamiento de la instalación 200 veces/s. Yendo más allá, los LEDs indicadores de estado, permiten identificar cuál es el dispositivo que está parando la máquina, lo que es muy útil en instalaciones con numerosos dispositivos de seguridad conectados entre sí.

La elección de este dispositivo y no otro, es por su formato compacto y de fácil conexión e instalación.

Para agrupar el tren de pulsos y hacer una conexión sencilla entre los tres paros de emergencia hemos añadido también un bloque de conexión Tina 4A con referencia 2TLA020054R0300.



Figura 22 - Dispositivo Tina 4A

Este bloque de conexión permite agrupar hasta 4 dispositivos en un mismo punto funcionando en el CDS. La conexión se hace mediante conectores M12-5 lo que garantiza la fiabilidad de la conexión.

En la instalación, al disponer de 3 dispositivos, al cuarto conector debemos conectarle un dispositivo Tina 1A con referencia 2TLA020054R0000.

2.1.3 Cerradura de seguridad.

Knox, bloqueo de seguridad robusto.

Knox se puede utilizar a modo de bloqueo de seguridad en células o líneas de producción con largos tiempos de parada o a modo de bloqueo de procesos para evitar paradas de procesos innecesarias.

Se trata de una cerradura de seguridad que evita el acceso a zonas peligrosas sin previa autorización que garantice que el peligro no existe o es mínimo.

La función de bloqueo está controlada eléctricamente y mantiene su posición (desbloqueo/bloqueo) en caso de que ocurra un fallo de alimentación.

Las manetas funcionan igual que en una puerta convencional. La maneta exterior, de acero inoxidable, es la que utilizamos para acceder a la celda robótica. Además, se tiene una maneta de seguridad en el interior, (de color rojo), que permite la apertura de la puerta desde el interior en todo momento.



Figura 23 - Cerradura de seguridad Knox

A la derecha se muestran los modos de funcionamiento de la puerta dependiendo de la posición que tengan cada una de las manetas.

Se trata de una cerradura hecha en acero y muy robusta que se instala fácilmente en la puerta de la celda de seguridad y que se compone de dos partes, la parte móvil (cerradura) y la parte fija (elemento de cierre).

Para la instalación se ha seleccionado la siguiente cerradura.

Parte móvil: Knox 1A-R v2 - Cerradura de seguridad para puertas con apertura hacia el exterior y visagra a la derecha. Referencia 2TLA020105R5000.

Parte fija: Knox 2A v2 Knox 2A v2 - Elemento de cierre lado marco. Conector M12 macho con 8 polos. Referencia 2TLA020105R2200.

2.1.3.1 Pulsador de acceso asociado

Se ha seleccionado un pulsador formato Smile, modelo Smille 11 RB con led azul mediante el cual se podrá monitorizar la señal de permiso de acceso a la celda. Referencia 2TLA030053R0100.

Dicha señal segura, es gestionada por Pluto y da señal de inicio a la secuencia de fin de ciclo y apertura de puerta.

Esto quiere decir que, en caso de querer acceder de manera segura a la celda, sería necesario pulsar el botón y esperar a que la cerradura se desbloquee.

Los pasos que ocurrirían en este proceso serían los siguientes. Primero se pulsa el botón de permiso de acceso. Segundo Pluto envía la señal segura al robot de que una vez se termine el proceso que está realizando, no realice el siguiente, si no que se detenga. Cuando el robot esté detenido, Pluto gestiona esta información y da señal de desbloqueo a la cerradura. Tercero, la puerta se desbloquea y se permite el acceso. Cuarto, cuando se abandona la instalación y se cierra la puerta, se bloquea la cerradura y se procede a dar señal de que la instalación puede volver a funcionar en estado seguro.

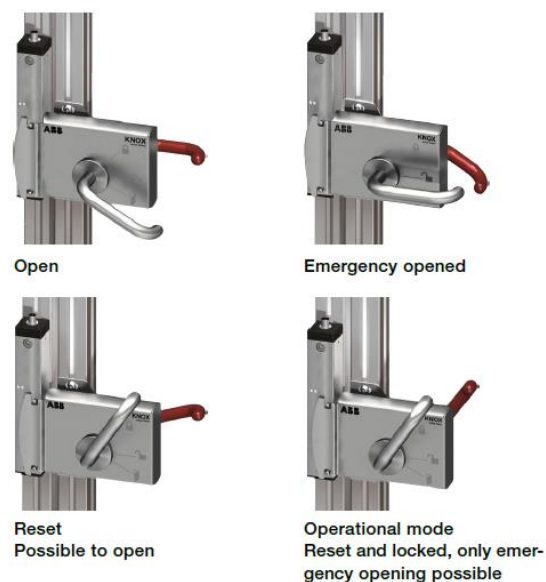


Figura 24 - Posiciones de la cerradura



Figura 25 - Pulsador Smile

2.1.4 Cortina fotoeléctrica

Una cortina fotoeléctrica tiene varios haces que se colocan juntos estrechamente, mientras que una barrera fotoeléctrica consta de solo uno, dos, tres o cuatro haces fotoeléctricos. Los haces de las cortinas fotoeléctricas se encuentran a una distancia de 14 mm o 30 mm dependiendo de si tiene resolución para detectar dedos o manos. Sin embargo, las barreras fotoeléctricas normalmente tienen una resolución de 30 cm o 50 cm para detectar solo cuerpos.

En la instalación se ha seleccionado la cortina Orion1 Base, Resolución 30mm, altura 750mm. T+R. Cortina con referencia 2TLA022302R0400. Tiene una resolución de 30 mm para detectar el paso de una mano y una altura de 750 mm para ser colocada en la cara frontal de la celda robótica en la zona de interacción entre el usuario y el robot.

La cortina fotoeléctrica debe instalarse de modo que nadie pueda correr el riesgo de quedar atrapado/aplastado sin que se dispare la cortina fotoeléctrica. Lo más importante es que no haya huecos debajo, a los lados ni por encima durante el funcionamiento del ciclo de funcionamiento. Además, si está abierto por encima de la cortina fotoeléctrica, se debe adaptar la altura de modo que no sea posible llegar sobre la zona de detección (véase ISO 13855).

La configuración preestablecida para la celda será con reset automático y conexión directa entre Pluto y la cortina mediante señales OSSD de doble canal. Con la actuación de realizar un paro de emergencia suave cuando la cortina detecte que se ha vulnerado la seguridad.

Como se ha comentado en el apartado de seguridad del robot. La función de seguridad asociada a la cortina podría ser tal que cuando se atraviese, el robot funcionara a velocidad lenta, no accediera a la zona de peligro o que se parase totalmente, entre otras.



Figura 26 - Orion1

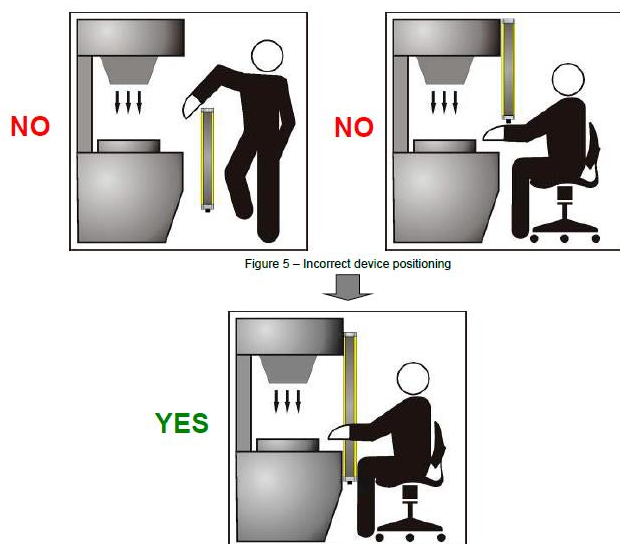


Figure 5 – Incorrect device positioning

Figura 28 - Colocación cortina fotoeléctrica

2.1.5 Vallado de seguridad

Se ha diseñado un cerramiento en forma de cubo de dimensiones 2.5 ancho * 2.5 largo * 2 m alto.

El vallado de seguridad está compuesto de perfiles de aluminio con un mallado inferior de acero de 4 cm, y una lámina transparente superior de policarbonato. Los perfiles son ligeros y robustos y se ensamblan de manera rápida sin necesidad de taladrar ni soldar.

Se trata de una medida de seguridad física, que se utiliza como medida de prevención para acceder a la zona de peligro donde se encuentran los robots.



Figura 29 - Vallado de seguridad en industria

Es un vallado que fabrica también ABB bajo condiciones especificadas y en este proyecto, se ha diseñado el cerramiento completo con la colocación exacta de los dispositivos de seguridad.

2.1.5.1 SafeCAD

Para el diseño del cerramiento se ha utilizado un complemento de AutoCAD que proporciona ABB. SafeCAD te permite elaborar cerramientos adaptados a diferentes necesidades de manera cómoda y de apariencia atractiva y permite exportar la lista de material necesario para el montaje de la celda diseñada.

Se puede descargar el software en el siguiente [enlace](#).

2.2 Programación de seguridad

A continuación, se muestra el report generado para la programación de seguridad del PLC Pluto utilizando el software Pluto Manager. Se añade la configuración de las entradas y salidas seguras del autómatas y el código LD.

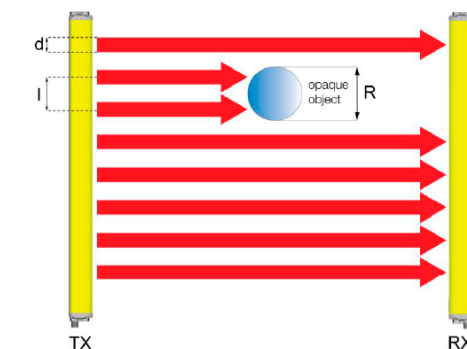


Figura 27 - Resolución cortina fotoeléctrica

Project name=<FILENAME>Celda Robótica para la Universidad

Detalles de la programación del PLC de seguridad Pluto S20 v2 encargado de gestionar la seguridad de la celda robótica diseñada para la Universidad.

System function library include=func06.fps
User function library include=

Can Baudrate=Default (400kbit/s)

Pluto 0: 12 networks
Plc Code: 12 networks

Figura 30 - Report Pluto Manager pág 1

Pluto Manager - Parameter listing Pluto 0

File=C:\Users\emili\OneDrive - ABB\02 TFG\Seguridad\Programación\ProgramaSeguridad.sps

Name=<FILENAME>Celda Robótica para la Universidad

File date=17/12/2018 18:38:16 Print date=17/12/2018 18:57:37



Page 2

IDFIX no=EEEEEEEEEE0

Único Pluto de seguridad en la instalación.

CanBus cycle time=Default

CanBus timeout=Default

PLC cycle time=Default

I0.0: Input, A_Pulse

I0.1: Input, Static

I0.2: Input, Static

I0.3: Input, Static

I0.4: Input, B_Pulse

I0.5: Input, Static

I0.6: Undefined

I0.7: Undefined

I0.10: Undefined

I0.11: Undefined

I0.12: Undefined

I0.13: Undefined

I0.14: Undefined

I0.15: Undefined

I0.16: Undefined

I0.17: Undefined

IQ0.10: Output, A_Pulse

IQ0.11: Output, Static

IQ0.12: Output, B_Pulse

IQ0.13: Output, Static

IQ0.14: Undefined

IQ0.15: Undefined

IQ0.16: Undefined

IQ0.17: Undefined

Figura 31 - Report Pluto Manager pág 2

Pluto Manager - Variable listing with cross reference Pluto 0

File=C:\Users\emili\OneDrive - ABB\02 TFG\Seguridad\Programación\ProgramaSeguridad.sps

Name=<FILENAME>Celda Robótica para la Universidad

File date=17/12/2018 18:38:16 Print date=17/12/2018 18:57:37



Page 3

Pluto 0

I0.0=PULSOA_IN P0/Plc Code/Nw 7, 8	;Señal dinámica procedente de la cerradura de seguridad
I0.1=ACCESO P0/Plc Code/Nw 9	;Señal de permiso de acceso a la celda
I0.2=CORTINA1 P0/Plc Code/Nw 4, 5	;Señal OSSD 1 Cortina Fotoeléctrica
I0.3=CORTINA2 P0/Plc Code/Nw 4, 5	;Señal OSSD 2 Cortina Fotoeléctrica
I0.4=PULSOB_IN P0/Plc Code/Nw 11, 12	;Señal dinámica procedente de los pulsadores de emergencia
I0.5=RESET_IN P0/Plc Code/Nw 2, 3	;Pulsador de Reset Global
I0.6=	;
I0.7=	;
I0.10=	;
I0.11=	;
I0.12=	;
I0.13=	;
I0.14=	;
I0.15=	;
I0.16=	;
I0.17=	;
Q0.0=PARO_EMERG P0/Plc Code/Nw 2*, 7*, 8*, 11*, 12*	;Salida segura de parada de emergencia
Q0.1=PARO_SEGURO P0/Plc Code/Nw 2*, 4*, 5*, 9*	;Salida segura de parada segura
Q0.2=	;
Q0.3=	;
Q0.10=PULSOA_OUT P0/Plc Code/Nw 6*	;Señal dinámica de salida del pulso A para la cerradura
Q0.11=DESBLOQUEO_CERRADURA P0/Plc Code/Nw 3*, 10*	;Señal de salida de desbloqueo de la cerradura de seguridad
Q0.12=PULSOB_OUT P0/Plc Code/Nw 6*	;Señal dinámica de salida del pulso B para los pulsadores de emergencia
Q0.13=RESET_OUT P0/Plc Code/Nw 2*, 7*, 12* P0/Plc Code/Nw 6	;Señal de salida para Reset Global
Q0.14=	;
Q0.15=	;
Q0.16=	;
Q0.17=	;
GM0.0=	;
GM0.1=	;
GM0.2=	;
GM0.3=	;
GM0.4=	;
GM0.5=	;

Figura 32 - Report Pluto Manager pág 3

Pluto Manager - Variable listing with cross reference Pluto 0

File=C:\Users\emili\OneDrive - ABB\02 TFG\Seguridad\Programación\ProgramaSeguridad.sps

Name=<FILENAME>Celda Robótica para la Universidad

File date=17/12/2018 18:38:16 Print date=17/12/2018 18:57:37



Page 4

GM0.6=	;	
GM0.7=	;	
GM0.8=	;	
GM0.9=	;	
GM0.10=	;	
GM0.11=	;	
M0.0=CORTINA_OK		;Señal de que la cortina fotoeléctrica está lista para funcionar
P0/Plc Code/Nw 2		
M0.1=PE_OK		;Señal de que los pulsadores de emergencia están listos para funcionar
P0/Plc Code/Nw 11* , 12*		
P0/Plc Code/Nw 2		
M0.2=CERRADURA_CLOSE		;Señal de que la cerradura está bloqueada
P0/Plc Code/Nw 7* , 8* , 9*		
P0/Plc Code/Nw 2, 3, 9		
M0.3=ACCESO_WAIT		;Señal auxiliar para la petición de acceso a la celda
P0/Plc Code/Nw 9*		
P0/Plc Code/Nw 10		

Figura 33 - Report Pluto Manager pág 4

Pluto 0 Plc Code

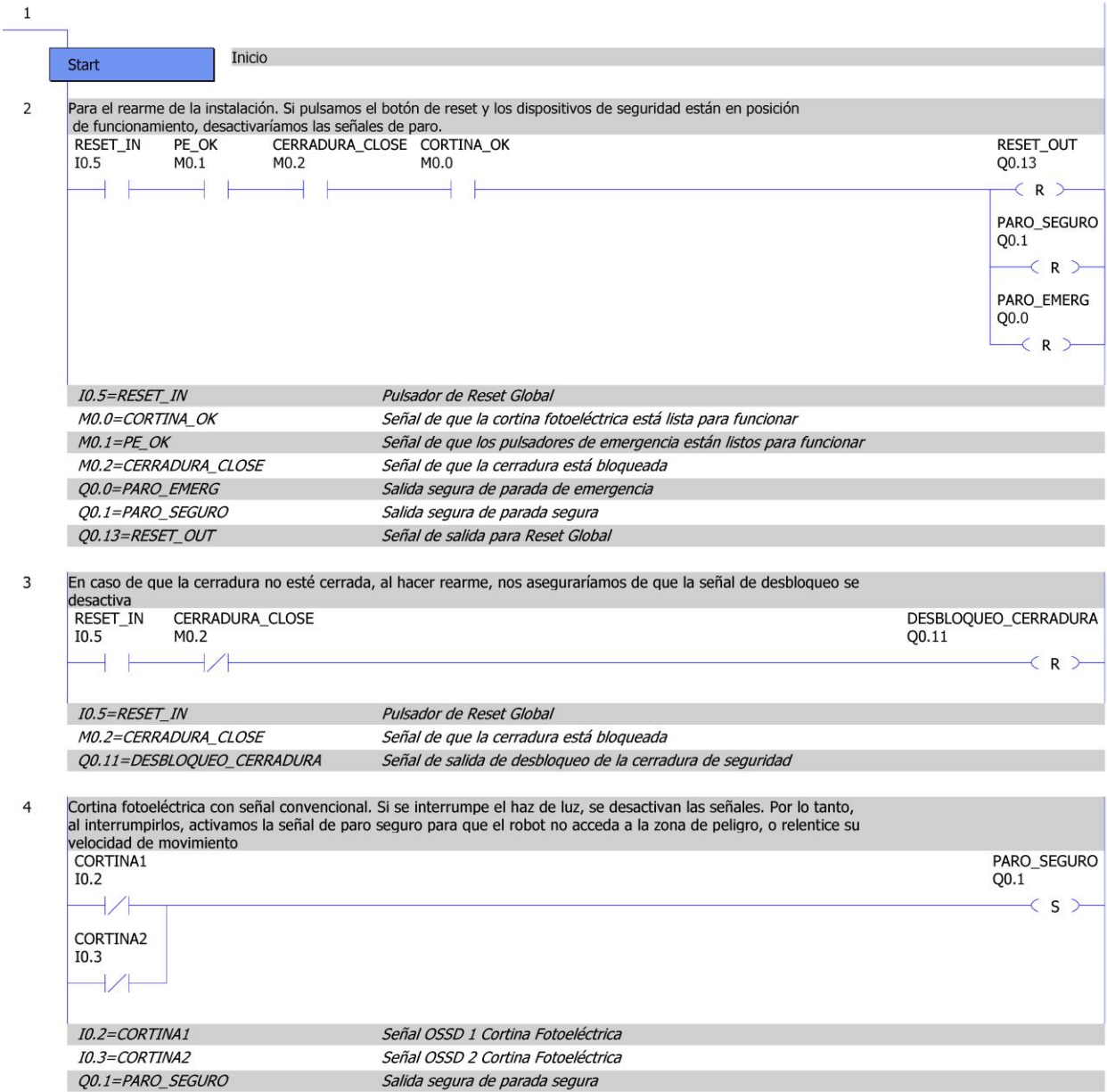


Figura 34 - Report Pluto Manager pág 5

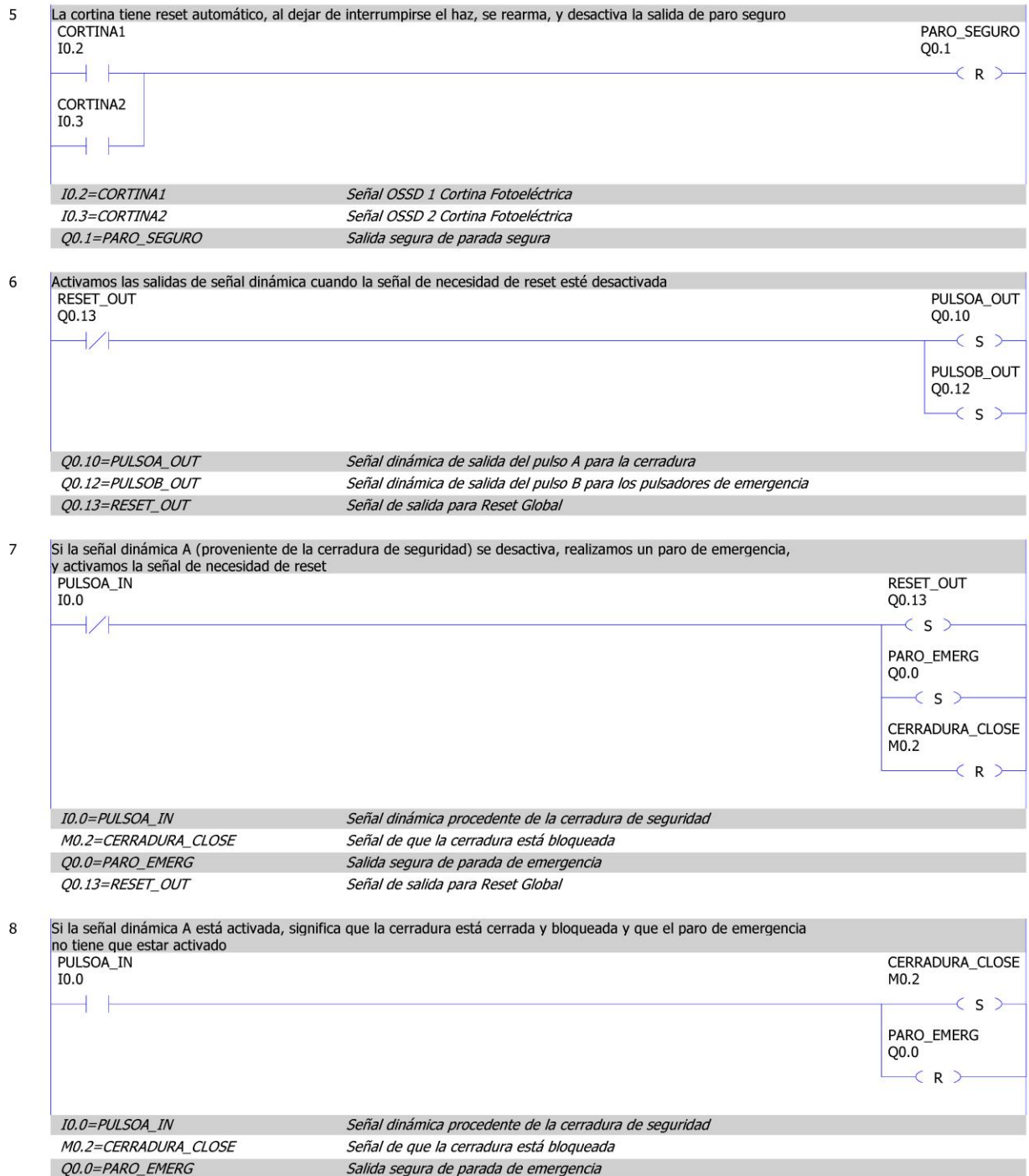


Figura 35 - Report Pluto Manager pág 6

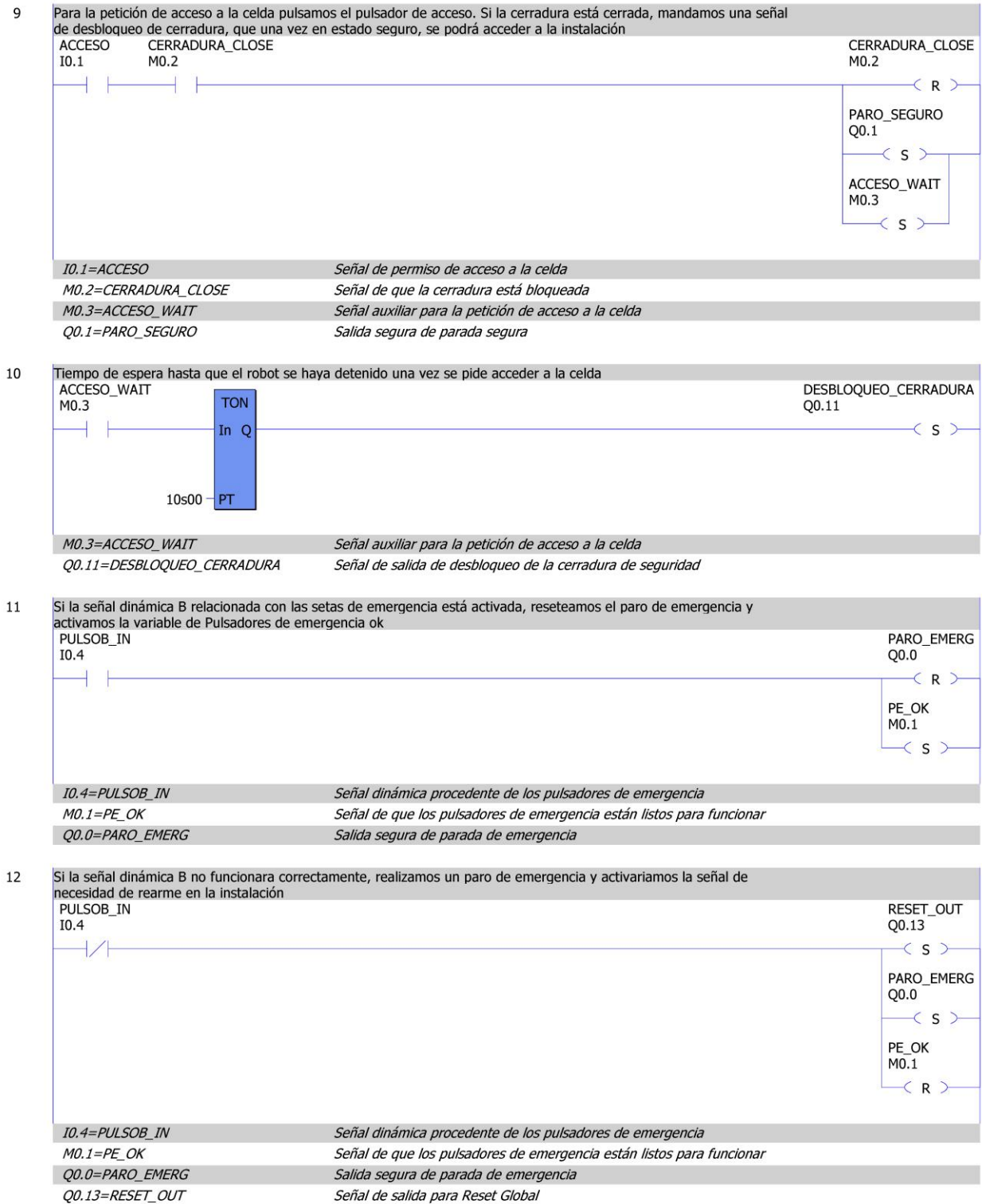


Figura 36 - Report Pluto Manager pág 7

2.3 Diagramas de conexión

La conexión eléctrica en circuitos de control y seguridad no son sencillos. Hay que prestar atención a no olvidar ninguna de las casuísticas que podrían darse en caso de emergencia. La mejor manera de pensar en el diseño es aquella que, desde un punto de vista pesimista, se pone siempre en la peor de las situaciones, por muy remota que pueda parecer.

Cierto es que, al elegir todos los dispositivos de seguridad del mismo fabricante, se garantiza la compatibilidad entre ellos. Además, han tenido en consideración la velocidad de instalación, por lo que muchos dispositivos bastan con solo introducirles un conector macho a su conector hembra con 5 u 8 pines.

El diseño de la conexión eléctrica parte desde la alimentación a + 24 V DC del autómata. Aguas arriba de la conexión de Pluto no se ha especificado nada. Se deja a elección del instalador la implementación de fuentes de alimentación con redundancia para casos de fallos de alimentación, y el diseño de las protecciones térmicas y magnéticas. Pues, al ser una ampliación de una instalación existente, dependerá siempre de los dispositivos ya en uso.

Por último, cabe mencionar que el conexionado eléctrico se ha realizado para que personal cualificado en instalaciones eléctricas lo lleven a cabo.

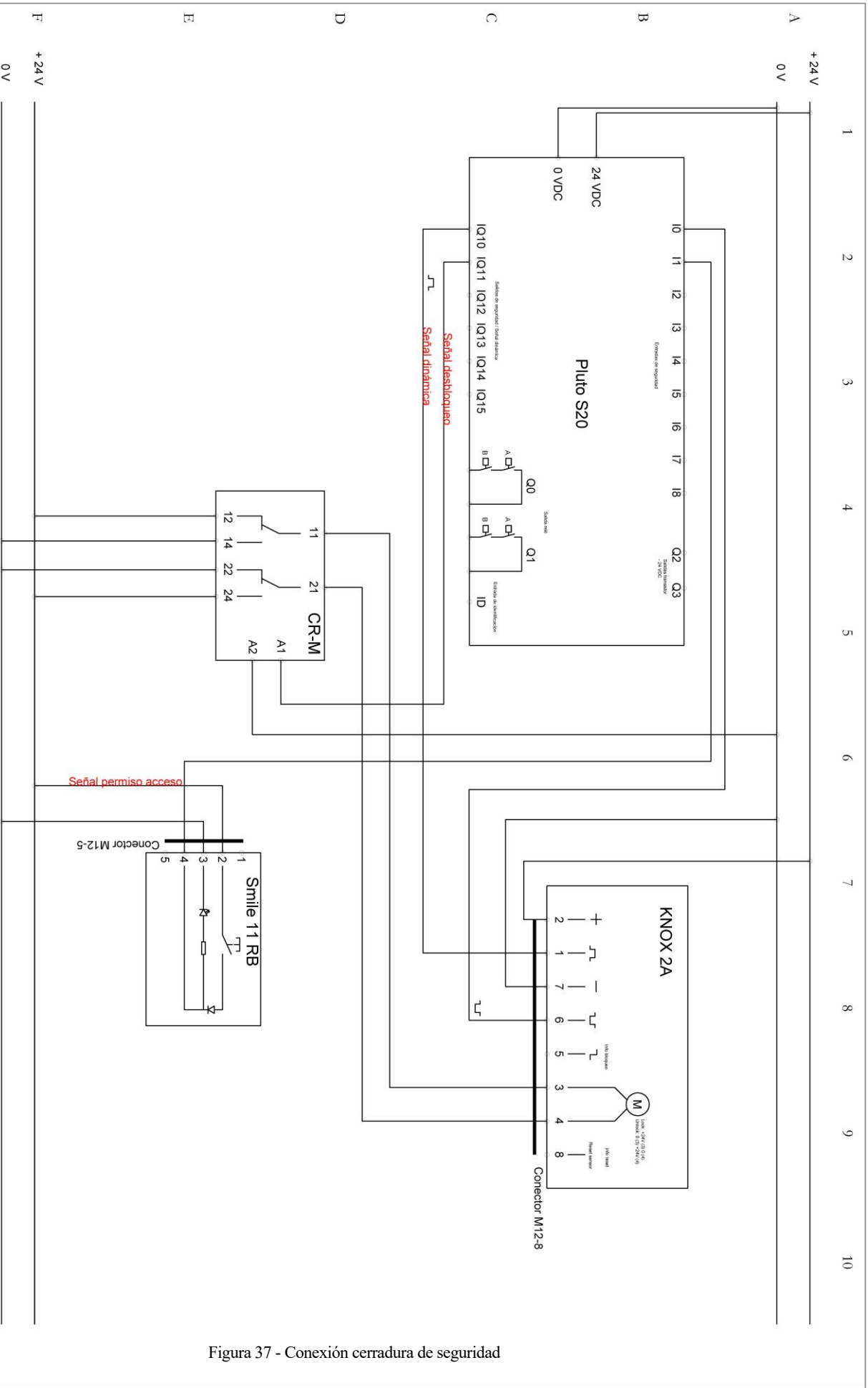


Figura 37 - Conexión cerradura de seguridad

DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

Señal de permiso de acceso

Permite enviar una señal a Pluto de petición de acceso a la celda. La señal llega a la entrada Pluto-I1, la cual se interpreta.

La interpretación puede ser: Si el robot está parado, poner la señal de desbloqueo = TRUE. Si el robot está en movimiento, terminar el proceso y después pararlo y una vez detenido activar la señal de desbloqueo.

Señal de desbloqueo

Desbloquea la cerradura de seguridad.

Señal dinámica

Envío del tren de pulsos de seguridad para la comprobación de que el estado de la cerradura es igual a bloqueada.

LEYENDA DE DISPOSITIVOS

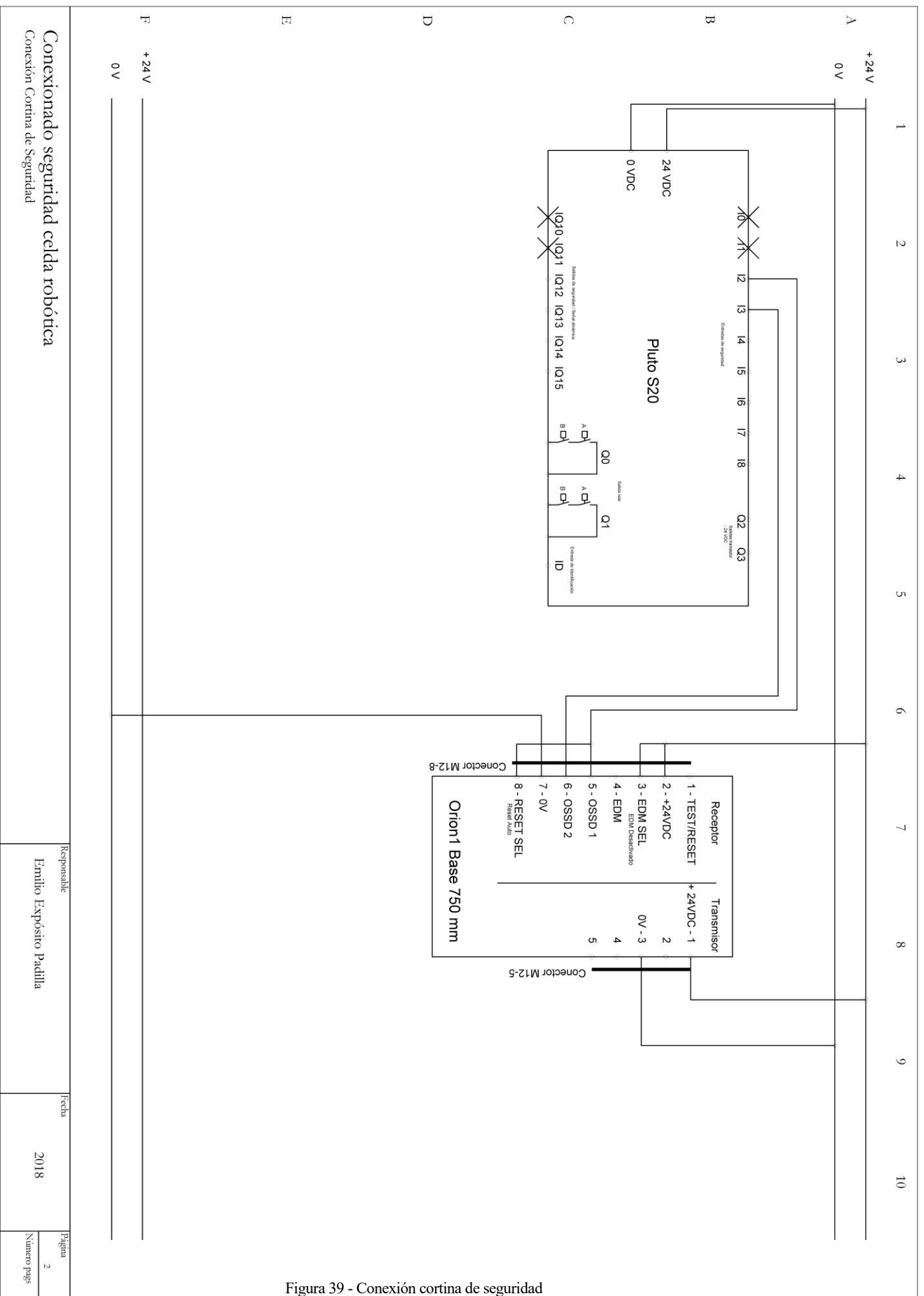
Pluto S20 - Autómata de seguridad encargado de gestionar la seguridad de nuestra instalación.

Knox 2A - cerradura de seguridad. Conectada al tren de pulsos dinámico A. En estado bloqueado cuando el robot está en movimiento. Desbloqueada cuando Pluto le da aviso y el robot está parado.

CR-M - relé conmutado. Tensión de la bobina 24 VCC. Cuando se aplica 24 V en los terminales A1-A2, los contactos conmutan desde su estado de reposo a su estado energizado, conmutando las salidas del propio relé. Reposo (la corriente circula por 11-12 y 21-22) contactos Normalmente Cerrados. Energizado (la corriente circula por 11-14 y 21-24) contactos Normalmente Abiertos.

Smile 11 RB - Pulsador luminoso. Cuando se quiera acceder a la celda, pulsaremos el botón, así activamos a la entrada I1 de Pluto, el cuál ejecutará el programa de parada segura del robot para que una vez detenido se proceda al proceso de desbloqueo de la puerta. No se permitirá poner en marcha el robot hasta que se haya abandonado la celda y se haya cerrado la puerta.

Figura 38 - Descripción de procesos en cerradura de seguridad



DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

Interrupción del haz de la cortina

Cuando el haz de luz es interrumpido, Pluto recibe una señal en sus entradas I2 e I3. La lógica interna del pluto interpreta esta señal como vulneración de la seguridad de la cortina, la cual se puede interpretar de diferentes formas, según desee el cliente.

La primera sería la de cortar la alimentación del robot realizando un paro de emergencia. La segunda, sería la de implantar una programación de seguridad en la que el robot, si la cortina ha sido interrumpida, reduzca la velocidad, no acceda a la zona peligrosa u otras especificaciones.

Hemos configurado la cortina con Reset automático y EDM desactivado.

LEYENDA DE DISPOSITIVOS

Orion 1 Base 750 mm

1 White RESET/ ACKNOWLEDGE

- Auto. Reset with no function Not connected or 0 V
- Auto. Reset with Acknowledge function or Alignment mode NO contact to +24 VDC
- Manual Reset NO contact to +24 VDC

2 Brown Supply +24 VDC

3 Green EDM SELECTION

- Activate EDM Not connected or 0 V
- Deactivate EDM +24 VDC

4 Yellow EDM

- Function used/activated NC contact of a force-guided relay
- Function not used/deactivated Not connected or 0 V

5 Grey OSSD1 Safety control module for ex.

6 Pink OSSD2 Safety control module for ex.

7 Blue Supply 0 V

8 Red RESET MODE

- Automatic Reset Pin 5 (OSSD1)
- Manual Reset Pin 6 (OSSD2)

Figura 40 - Descripción de procesos cortina de seguridad

DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

Paro de emergencia

El paro de emergencia es el proceso mediante el cuál se detiene el movimiento del robot debido a una emergencia. Es accionado por los usuarios de la instalación. Al pulsar uno de los tres paros de emergencia, la señal de alarma llega a la entrada I4 de Pluto, la cual se interpreta y da señal de paro inmediato al robot.

Reset global

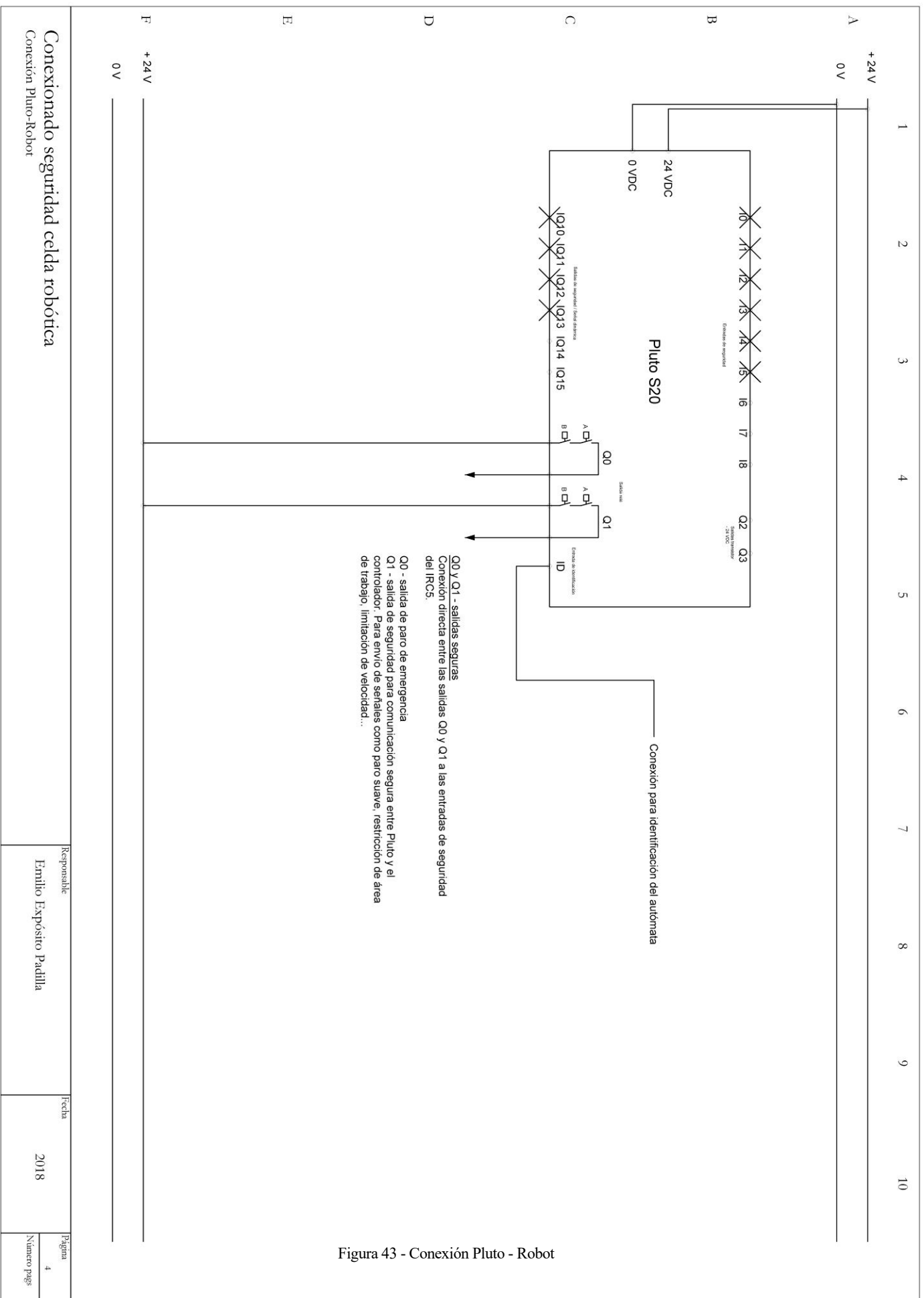
La señal de reset se utiliza para reestablecer el funcionamiento normal de la instalación después de haberse producido un paro de emergencia o alguna otra anomalía.

LEYENDA DE DISPOSITIVOS

Smile 11 EA - Pulsadores de paro de emergencia con funcionamiento con señal dinámica.

Smile 11 RB - Pulsador luminoso para reset global y conexión a autómata Pluto.

Figura 42 - Descripción de procesos pulsadores de emergencia



2.4 Comunicación con el robot

El autómatas Pluto es el encargado de comunicarse mediante señales seguras con el controlador IRC5 del robot IRB 120.

Este controlador tiene mayor o menor número de tarjetas de funcionalidad dependiendo del modelo de robot que esté conectado a él. Es por ello, que dependiendo qué robot haya en la instalación, la comunicación entre ambos se realiza de una forma u otra, para garantizar la máxima seguridad y el paro seguro.

2.4.1 Seguridad del controlador IRC5

El controlador de robot se ha diseñado para ofrecer una seguridad total. Cuenta con un sistema de seguridad dedicado, que se basa en un circuito de doble canal que se controla continuamente. Si cualquiera de los componentes falla, se interrumpe la alimentación eléctrica de los motores y se aplican los frenos.

Algunas de las funciones de seguridad que dispone el controlador son:

El paro de protección: El controlador cuenta con varias entradas eléctricas que pueden utilizarse para conectar equipos de seguridad externos, como puertas de seguridad y barreras fotoeléctricas. De esta forma, es posible activar las funciones de seguridad del robot tanto desde los equipos periféricos como desde el propio robot. El paro puede ser no controlado (categoría 0) o controlado (categoría 1).

Paro de protección controlado: Un paro controlado proporciona un paro suave. El robot se detiene de la misma forma que con un paro de programa normal, sin desviarse de la trayectoria programada. Después de aproximadamente 1 segundo, se corta la alimentación de los motores.

Limitación del área de trabajo: Software: Es posible limitar el movimiento de los distintos ejes. Hardware: Topes mecánicos móviles.

El controlador se basa en circuito de seguridad convencional. La decisión de utilizar un autómatas Pluto basado en circuito dinámico de seguridad permite tener una mayor flexibilidad a la hora de conectar dispositivos a la celda robótica.

A modo de resumen sobre la programación, Pluto enviará una señal de paro de protección no controlado si se pulsa una seta de emergencia, enviará una señal de paro controlado si se interrumpe la cortina fotoeléctrica y enviará una señal que bloquee el movimiento del robot cuando la cerradura de seguridad esté abierta.

Además, se iniciará una rutina de paro cuando se pida acceso a la celda mediante el pulsador asociado a la cerradura de seguridad. Esto no implica el paro inmediato del robot, sino tras terminar la rutina de movimiento.

Se podría ir más allá incluso en la programación del movimiento gracias a la función de seguridad del IRC5 de la limitación de la zona de trabajo. Como la comunicación entre Pluto y el IRC5 es inmediata y segura, sería interesante si se programara la función de limitar la zona de trabajo cercana a la barrera fotoeléctrica cuando la señal de interrupción de la barrera esté activa. Lo que permitiría que el robot siguiera en movimiento, pero con velocidad reducida y alejada de la zona mencionada.

No obstante, no es ámbito de aplicación de este proyecto el de programar los modos de movimiento del robot, pero sí la de mencionar que el autómatas Pluto es un PLC muy potente que permite implementar numerosas situaciones muy útiles en la industria.

2.4.2 Configuración del IRC5

El controlador es muy flexible y puede, con ayuda de RobotStudio o el FlexPendant, ser configurado fácilmente para adaptarlo a las necesidades de cada usuario:

Además de la gestión de E/S, la secuencia de encendido, etc, existen otras configuraciones relacionadas con la seguridad.

Secuencia de paro de emergencia: Acción a realizar en caso de paro de emergencia.

Secuencia de detención de programa: Acción a realizar al detener el programa.

Área de trabajo: Limitaciones del área de trabajo.

Es interesante mencionar algunas entradas y salidas relacionadas con la seguridad, que debería utilizarse para la rutina de paro de emergencia en la programación del controlador. Estas son: Interrupt, Paro de emergencia, Motors On/Off, Reset Emergency Stop, Parar, Stop at end of Cycle...

2.4.3 SafeMove

SafeMove es un controlador de seguridad del sistema de robot (Controlador de seguridad, DSQC 647 (3HAC026272-001)). La finalidad del controlador de seguridad es garantizar un alto nivel de seguridad en el sistema de robot, mediante el uso de funciones de supervisión que pueden detener el robot y funciones de monitorización que puedan establecer unas señales digitales seguras de salida. Las funciones de supervisión se activan mediante señales digitales seguras de entrada. Es posible conectar señales tanto de entrada como de salida, por ejemplo, a un PLC de seguridad que puede controlar qué comportamiento se permite en el robot en distintos momentos. El controlador de seguridad también envía señales de estado al ordenador principal, es decir, al controlador de robot IRC5 estándar.

Sin embargo, este controlador no está disponible para la familia de robots IRB 120.

2.5 Oferta del proyecto

Se incluye a continuación la lista de material necesaria para la puesta en marcha de la solución propuesta. Tanto del material de dispositivos de seguridad como la del cerramiento de seguridad, del cuál se hablará en el apartado 3.

Asea Brown Boveri, S.A.
Electrification Products



Nº referencia: Emilio Expósito Padilla
 Cliente:
 A la atención de: Sr.
 Asunto: Seguridad celda robótica

Dispositivos seguridad

Aparellaje

Código	Descripción	Ctd	Importe
2TLA020070R4700	Pluto S20 v2 PLC de Seguridad 8+8+2+2 E/S. Sin Pluto Bus	1,00	685,79
2TLA030053R0100	Smile 11RB. Pulsador de Reset con LED para conectar a IQ en PLC de seguridad Pluto. LED azul. Conect	1,00	67,28
	Paro de emergencia		
2TLA030050R0000	Smile 11 EA Tina Paro Emerg.CDS,M12-5p	3,00	277,05
2TLA020054R0300	Tina 4A Bloque de Conexiones 4 bifurca.	1,00	143,39
2TLA020054R0000	Tina 1A Tapón de cierre para Tina 4/8	1,00	43,65
	Cortina fotoeléctrica		
2TLA022302R0400	Orion1 Base, Res 30mm, 750mm. T+R. Cortina	1,00	1.181,80
	Cerradura de seguridad		
2TLA020105R5000	Knox 1A-R v2 Apertura ext, Bisagra drch	1,00	337,11
2TLA020105R2200	Knox 2A v2 Elemento de cierre lado marco	1,00	393,07
2TLA030053R0100	Smile 11RB. Pulsador de Reset con LED para conectar a IQ en PLC de seguridad Pluto. LED azul. Conect	1,00	67,28
1SVR405611R1100	Relé enchufable CR-M024DC2L	1,00	9,07
1SVR405651R1000	Base CR-M2SS	1,00	4,56

Total Aparellaje: 3.210,05

Total Pos. Dispositivos seguridad: 3.210,05

Total Proyecto: 3.210,05

Figura 44 - Lista de material de seguridad



Calculation

<u>Article no</u>	<u>Description</u>	<u>Qty</u>
2TLA040030R0700	JSM 32B-K L-bracket	32,00
2TLA040030R0800	JSM 33B-K T-bracket	13,00
2TLA040030R1400	JSM 39-K Floor bracket	16,00
2TLA040031R0800	JSM NL3 Netlock for welded mesh	84,00
2TLA040033R2600	JSM D13A Doorstop for conv.door	2,00
2TLA040033R2800	JSM D14 Crossbar for door 20x5 L=1160	1,00
2TLA040033R4800	JSM D1C Hinge 80x80 c-c45 pre-mounted	2,00
2TLA040037R3500	JSM A44A Aluminium extrusion 44x44	31,77
2TLA040037R3700	JSM A44A Aluminium extrusion 44x44 L=2000	7,00
2TLA040038R0100	JSM PL1A Infill securingstrip L=842	12,00
2TLA040038R0300	JSM PL1C Infill securingstrip L=2000	10,00
2TLA040038R0400	JSM PL1D Infill securingstrip L=732	2,00
2TLA040039R1200	JSM YPC5A9 Pc sheet 5mm uncoloured, cut to size	6,23
2TLA040040R1600	JSM YN40W9 Welded steelmesh 40x40x3,5 black, cut to size	8,60

Total Sum:

3 DISEÑO 3D CELDA ROBÓTICA

3.1 Introducción sobre el diseño de la celda

Se ha modelado el escenario real de la instalación para una clara visualización del proyecto. En esta representación 3D se pueden observar la localización de:

- Dos robots IRB 120, en colaboración.
- Dos cintas transportadoras con las que trabajan dichos robots, dispuestas en posición perpendicular entre ellas.
- Una mesa de acero inox donde se colocan dichos robots y las cintas.
- Dispositivos de seguridad, como paros de emergencia y pulsador de reset y permiso de acceso.
- Una cortina fotoeléctrica.
- Una puerta de acceso con la cerradura de seguridad Knox.
- Vallado de seguridad exterior.

Para el modelado se ha utilizado el software AutoCAD 2018.

3.2 Vistas de la celda robótica

Se muestra en este apartado las vistas de la instalación completa con un estilo visual realista además del dimensionado de las partes de la celda robótica.

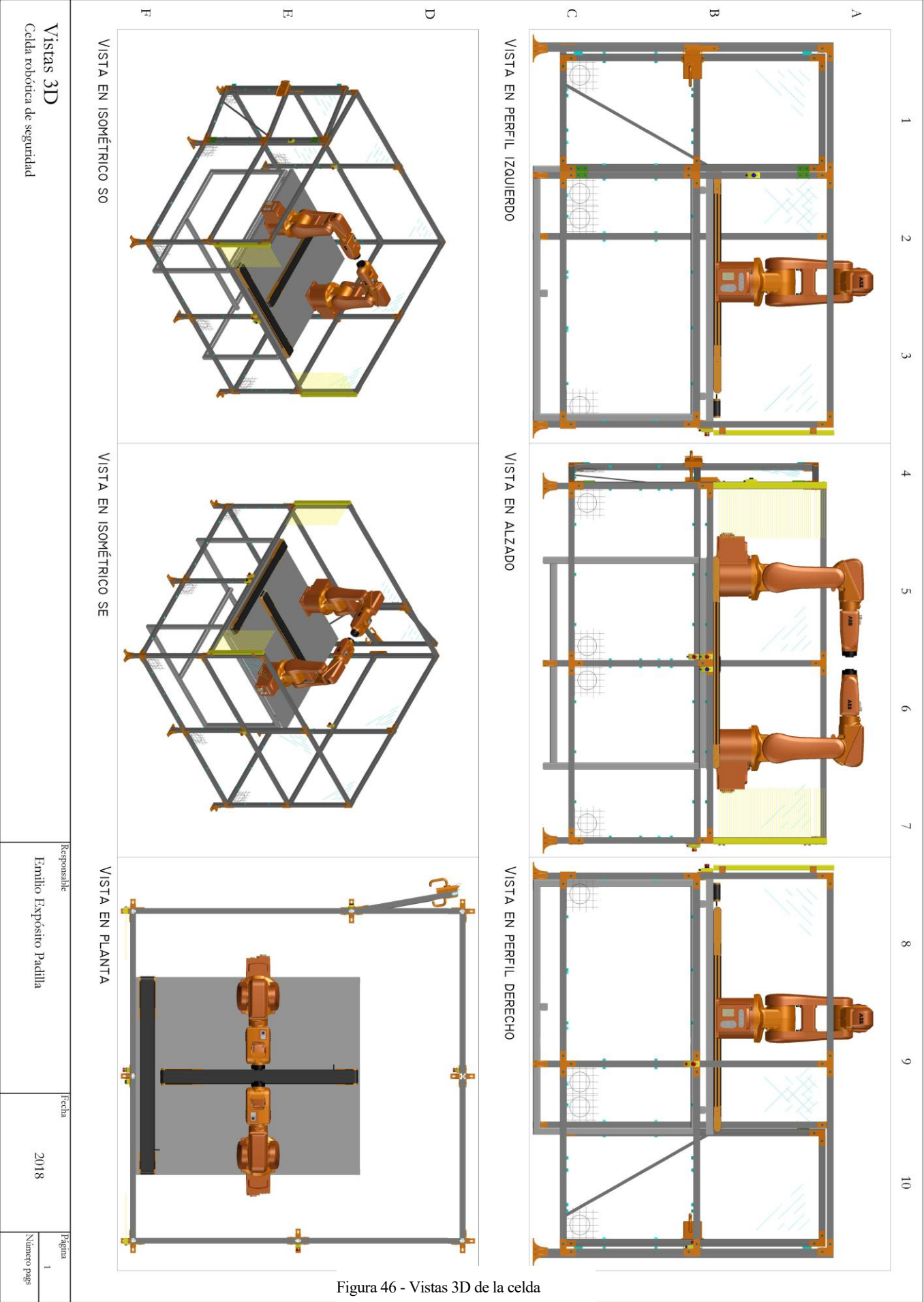


Figura 46 - Vistas 3D de la celda

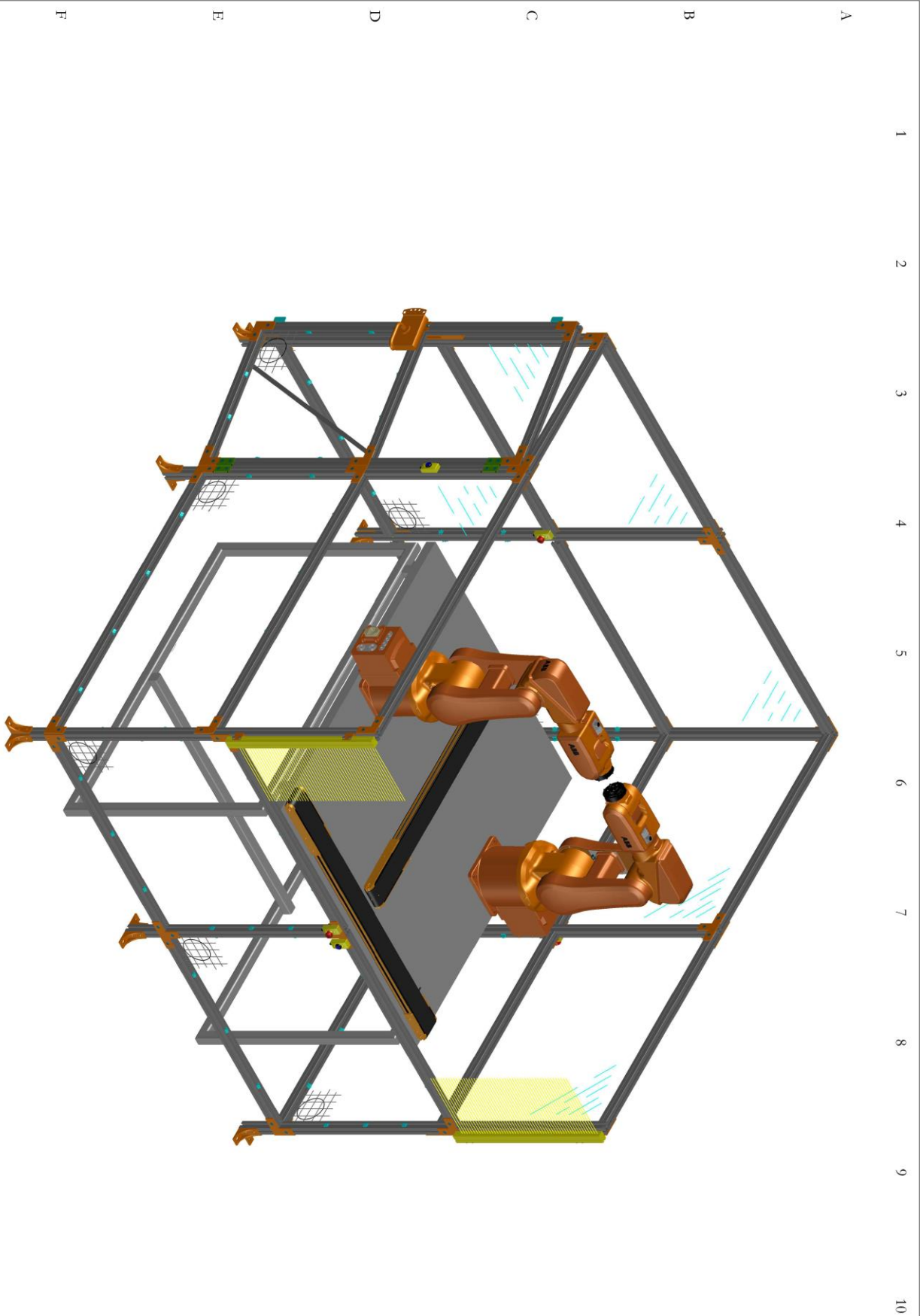


Figura 47 - Vista isométrica SO

Vista Isométrica SO
Celda robótica de seguridad

Responsable

Emitio Expósito Padilla

Fecha

2018

Página

2

Número pags

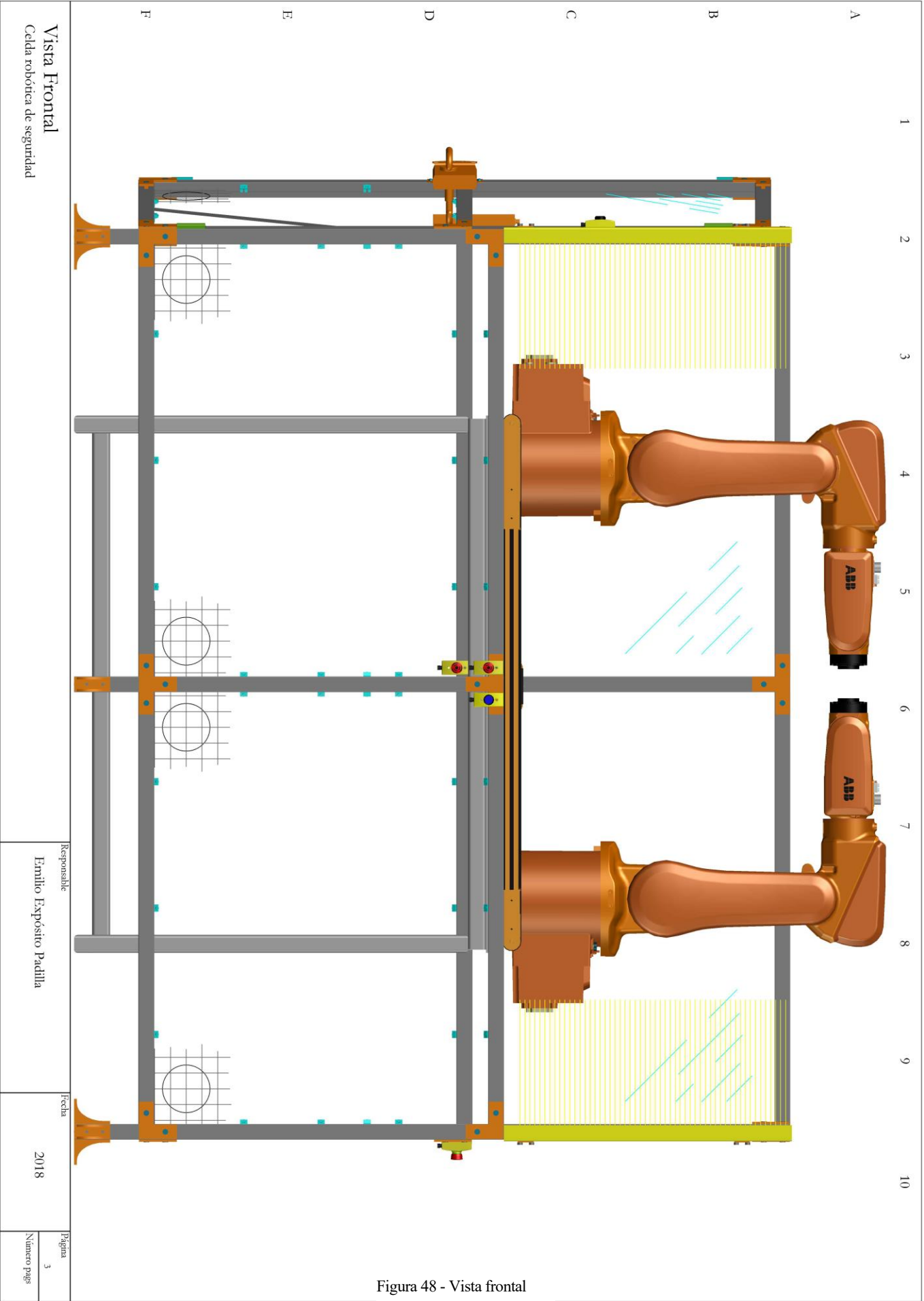


Figura 48 - Vista frontal

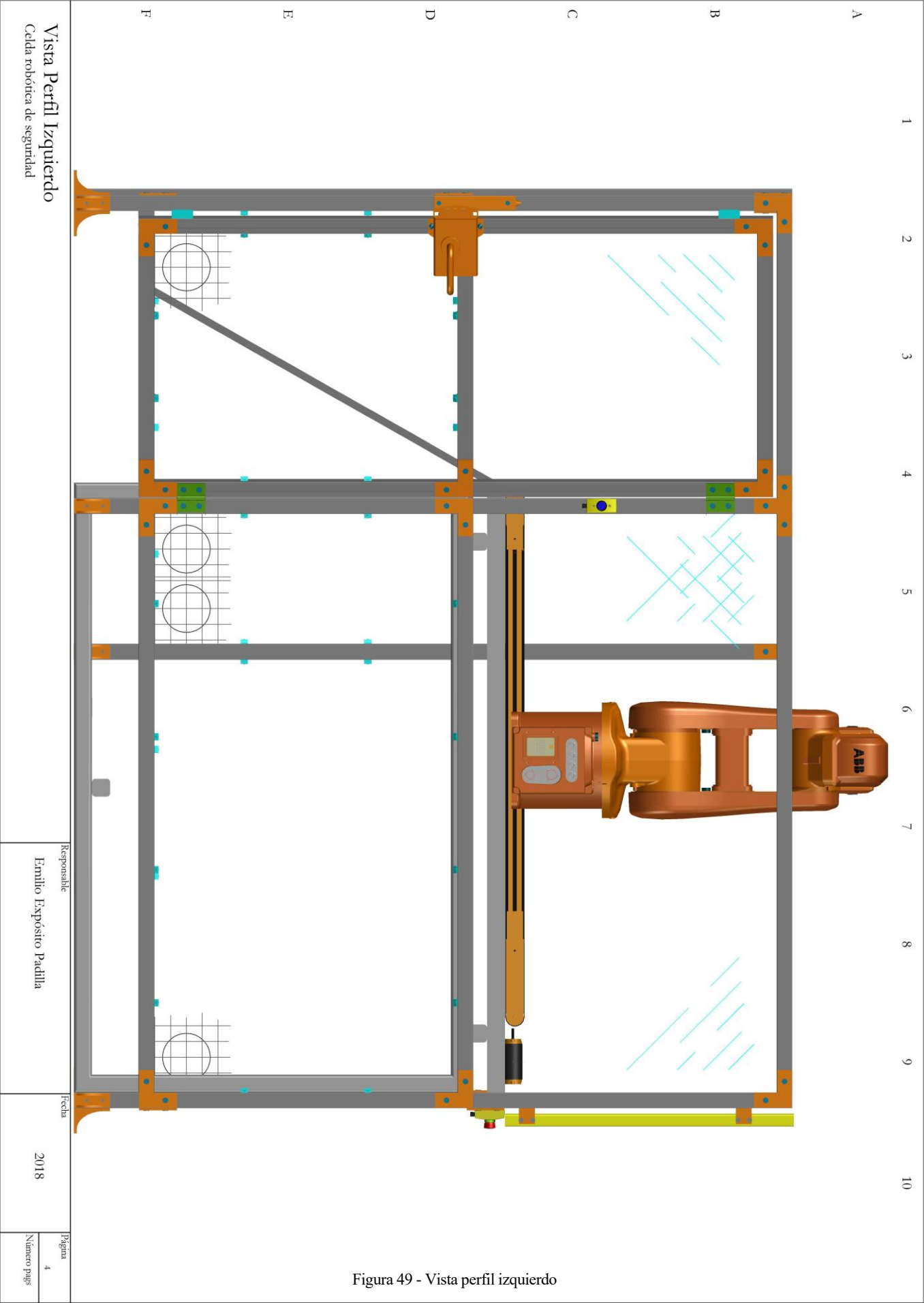


Figura 49 - Vista perfil izquierdo

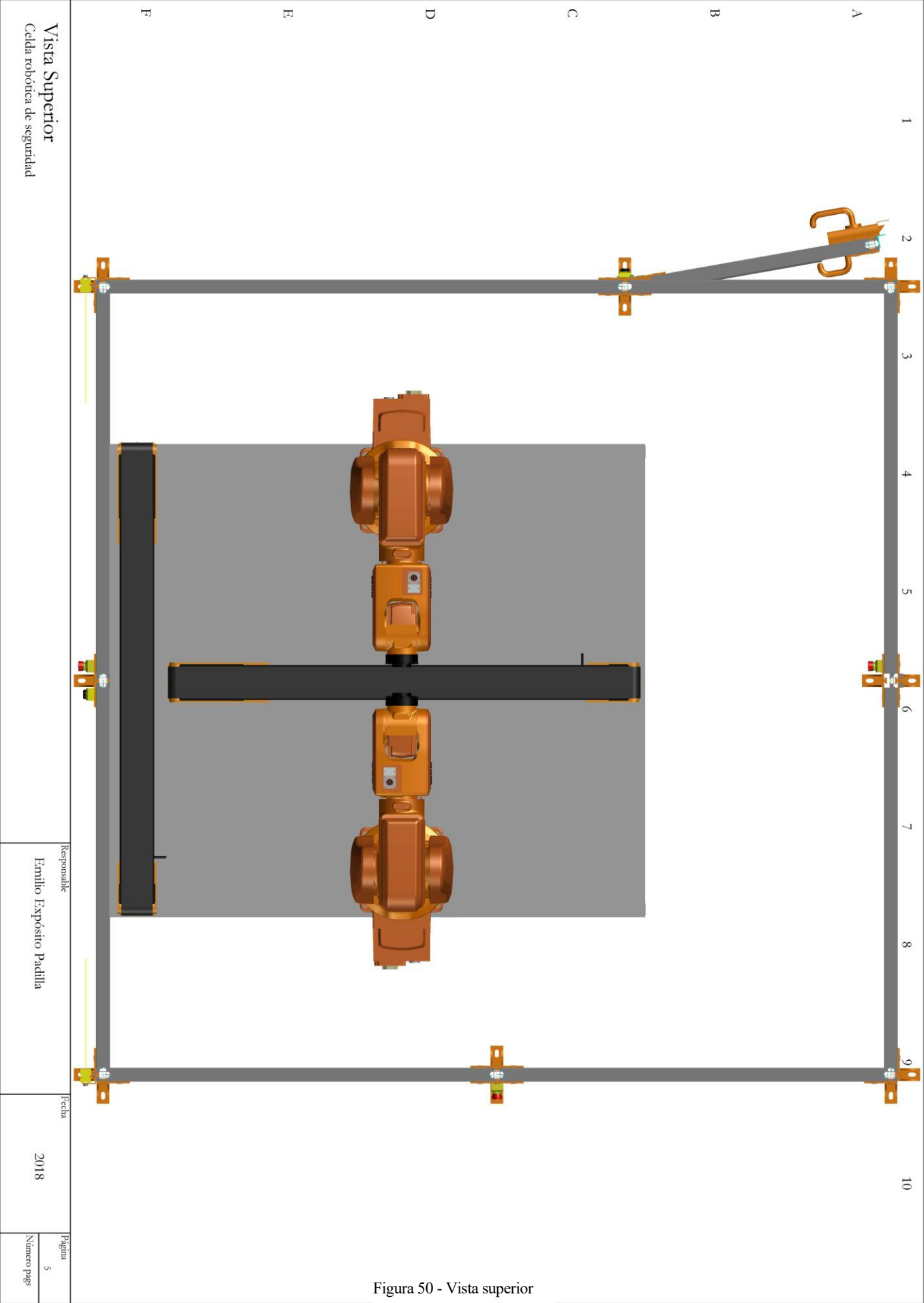


Figura 50 - Vista superior

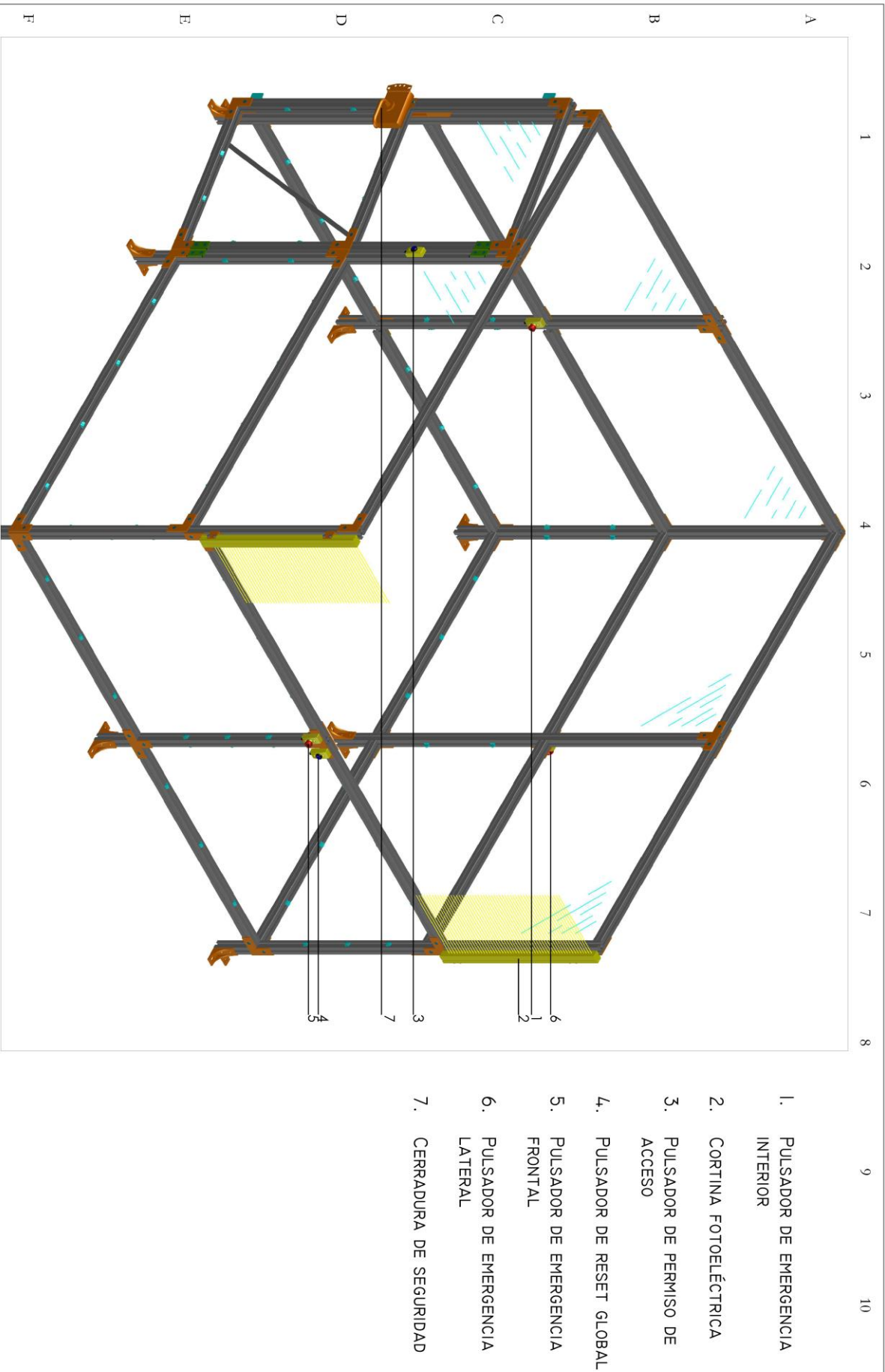


Figura 51 - Colocación de dispositivos

Colocación de dispositivos de seguridad		Responsable	Fecha	Página
Celda robótica de seguridad		Emitio Expósito Padilla	2018	6
				Número pags

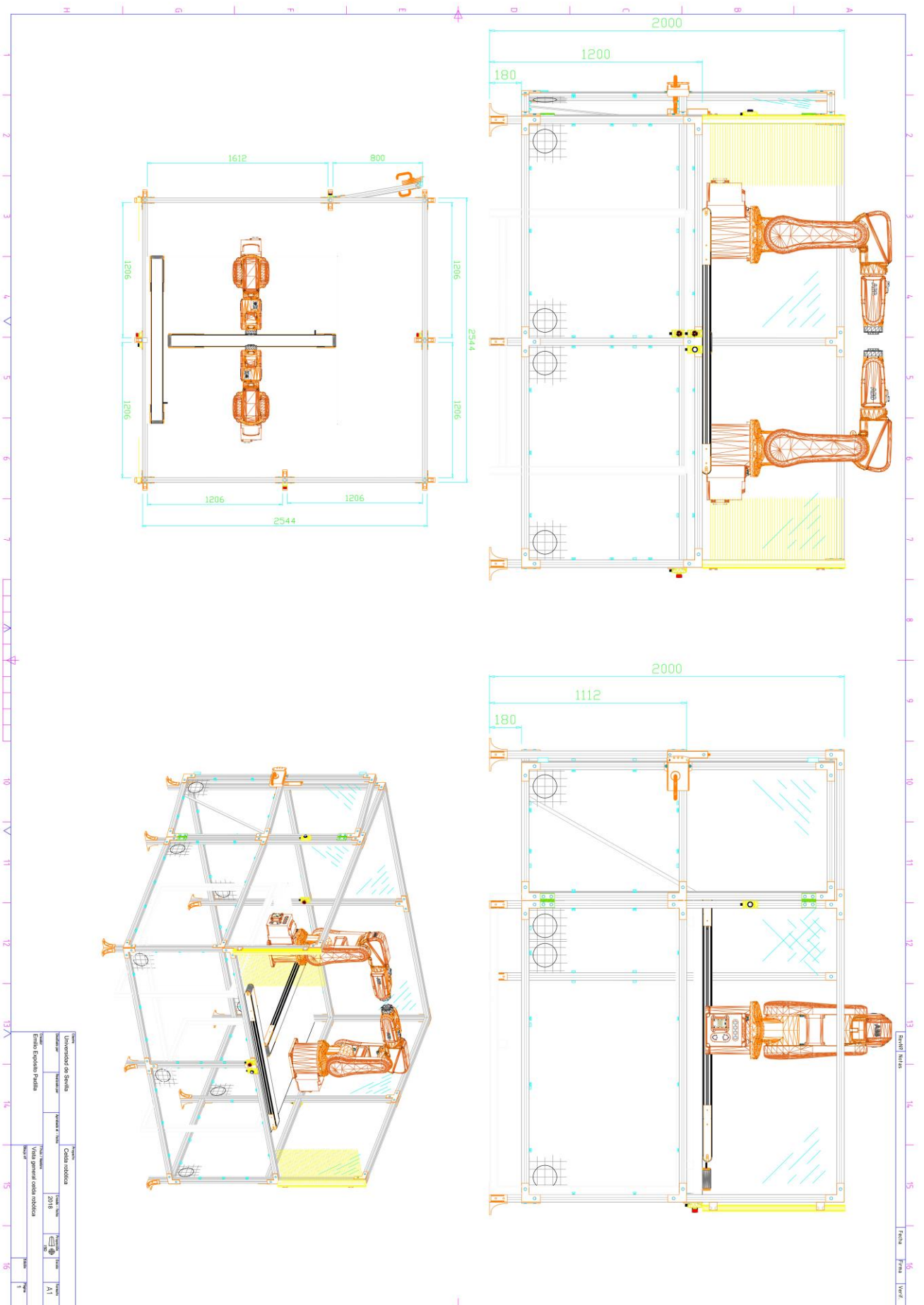


Figura 52 - Vistas acotadas general

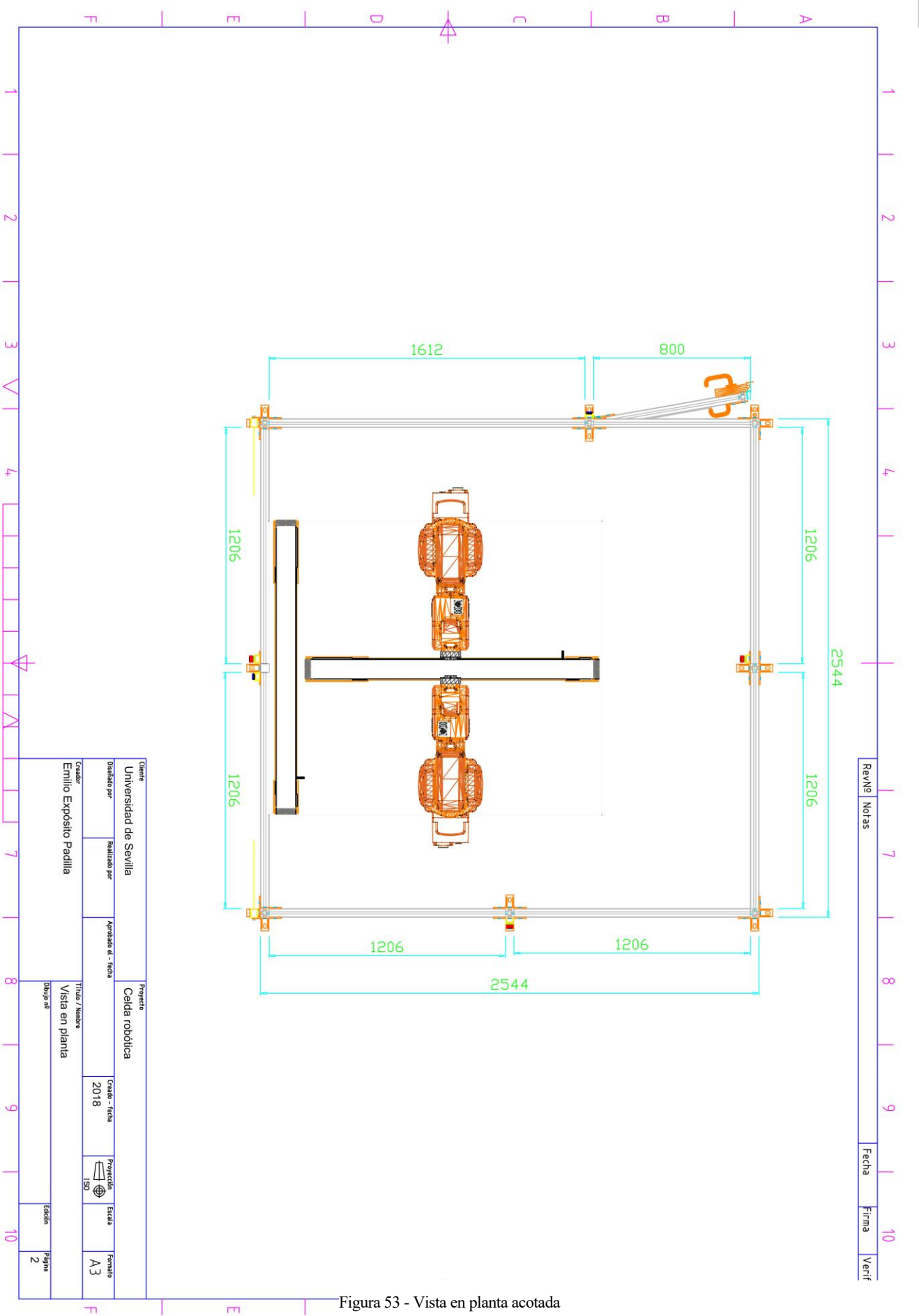


Figura 53 - Vista en planta acotada

Cliente			Proyecto		
Universidad de Sevilla			Celda robótica		
Diseñado por	Realizado por	Aprobado el - fecha	Creado - fecha	Proyección	Escala
Emilio Expósito Padilla			2018	ISO	A3
Creador			Título / Número		
			Vista en planta		
Dibujante			Edición		
			Página		
			2		

Revisó	Notas	Fecha	Firma	Verif

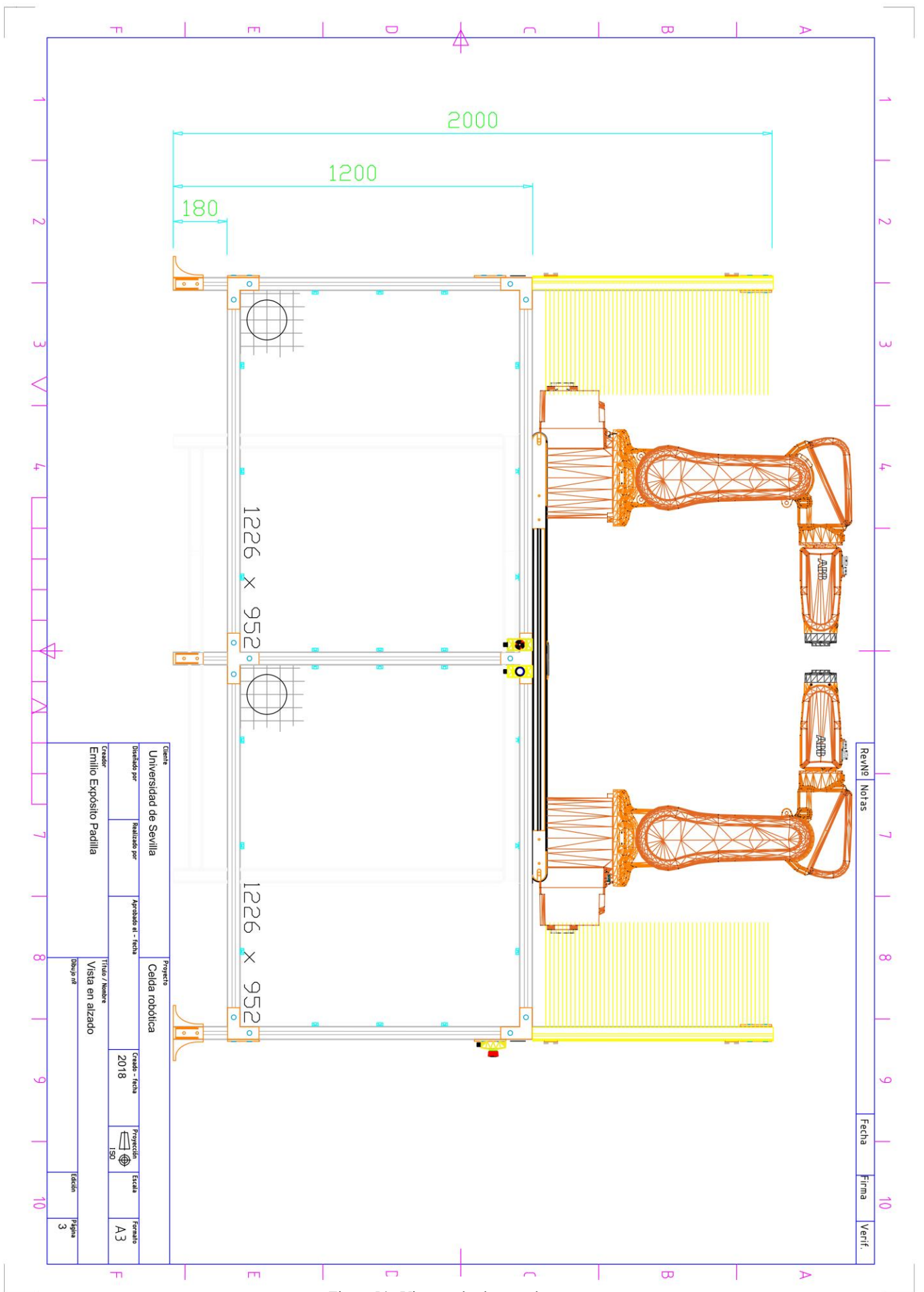


Figura 54 - Vista en alzado acotada

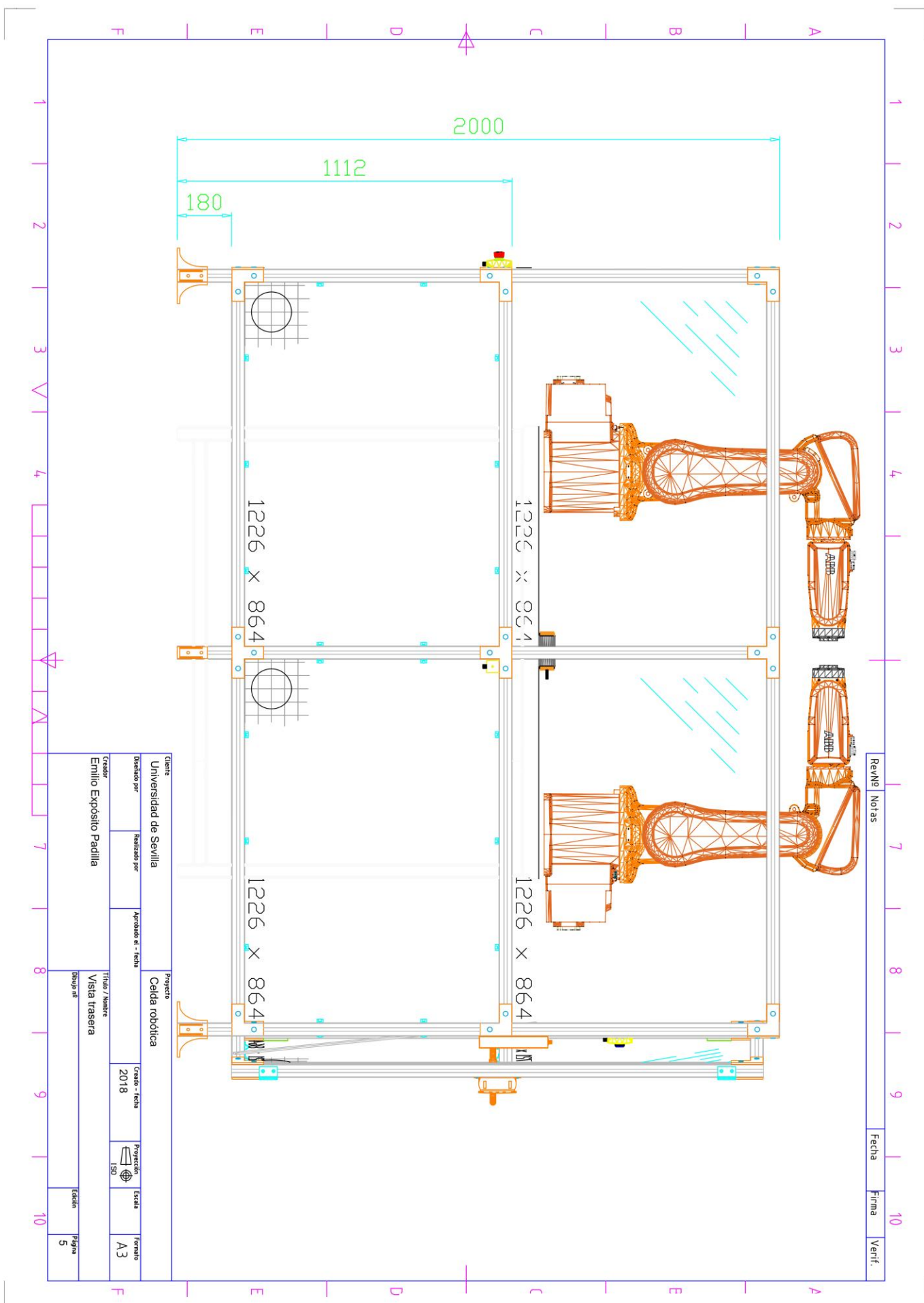


Figura 56 - Vista trasera acotada

3.3 Pliego de condiciones

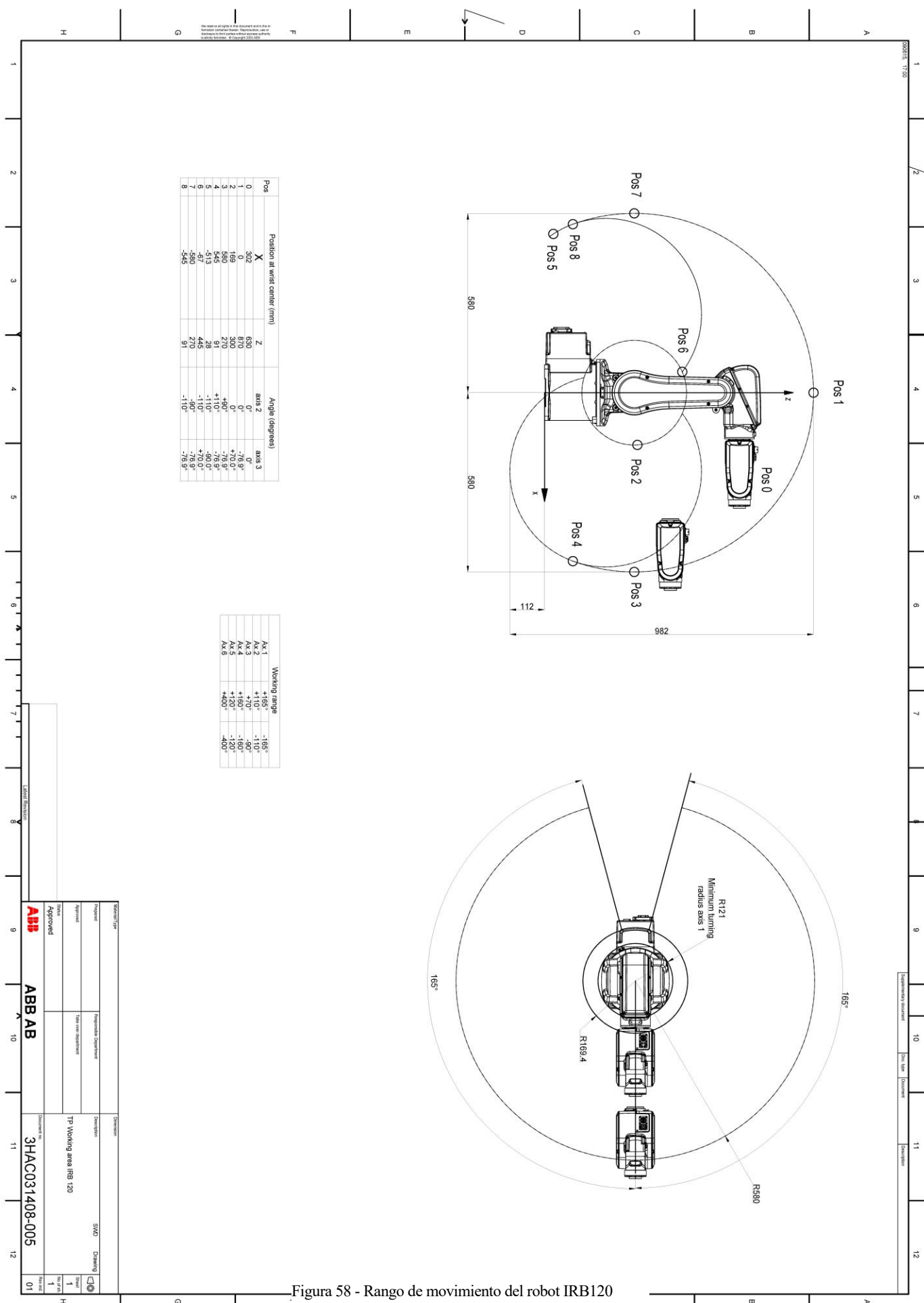
Para la colocación de cada dispositivo de seguridad, los robots, la mesa y las cintas transportadoras se han tenido en cuenta varios condicionantes con el fin de garantizar que la celda fuera segura a la vez que práctica.

Los robots disponibles en la Universidad son dos robots ABB modelo IRB 120. Para utilizarlos de manera colaborativa, aprovechando todo su potencial de movimiento y velocidad, es necesario que se establezcan unas medidas de seguridad como las que han sido analizadas en los puntos anteriores.

Para el diseño de la celda y la colocación de los dos robots se ha tenido en cuenta tanto el tamaño de ambos como el rango de movimiento, para evitar impactos entre ambos e impactos con la propia celda y el resto de los objetos que hay en la instalación.

- Cada robot se ha colocado a una distancia mínima de 580 mm de las paredes de la celda y de la cortina fotoeléctrica frontal de la celda, con el fin de que el brazo robótico no sobresalga de la celda, no impacte con las paredes y pueda a la misma vez acceder a todas las zonas de la mesa en la que se apoya.
- La mesa está colocada pegada a la cara frontal de la celda y sobre ella se colocarán los dos robots y las dos cintas transportadoras.
- El resto de espacio de la mesa servirá para colocar los objetos con los que el robot interactuará.
- La mesa está colocada de tal forma que permite el acceso lateral y posterior con el fin de realizar labores de mantenimiento.
- Bajo la mesa podrían colocarse los controladores IRC5 con el fin de ahorrar espacio fuera de la instalación.
- La puerta de acceso a la celda se abre hacia el exterior y con bisagra a la derecha. A su derecha y a una altura accesible se encuentra el dispositivo de permiso de acceso.
- La cortina fotoeléctrica protege toda la zona libre de la cara frontal de la celda. Esta será la zona de trabajo donde podrá interactuar el usuario con los robots de manera segura.
- Se colocarán el pulsador de emergencia y el pulsador de reset en la parte frontal de manera que sea accesible para el usuario.
- A su vez, se colocarán dos pulsadores de emergencia adicionales, uno en el interior de la celda y otro en el perfil derecho de la celda.
- La altura de la celda será de 2 m para evitar que se acceda a la celda por encima de ella con la intención de vulnerar la seguridad. Además, la separación del mallado inferior de acero es de 18 cm del suelo para evitar que se acceda por abajo.
- La celda es un cubo de base 2.5 m^2 y altura 2 m.

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas de los robots.



3.4 Descarga de archivos

Cinta transportadora

Se ha elegido una cinta de dimensiones similares a las que están disponibles en la universidad.

Características técnicas: velocidad máxima 11.5 m/min.

Dimensiones: Ancho 100 mm. Largo: 1500 mm.

Web: partcommunity. [Enlace](#).

En esta web se puede acceder a los catálogos de productos de diferentes fabricantes.

Normalmente, dentro de un mismo producto, permite generar la documentación, modelado 3D e incluso la generación personalizada de las longitudes principales.

En este caso, se ha optado por las dimensiones anteriores porque se adaptan bien a las cintas transportadoras ya existentes.

Diagramas del robot irb 120

Los planos con las especificaciones técnicas y el modelo 3D de los robots han sido obtenidos de la web del fabricante.

<https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-120/cad>

Dispositivos de seguridad

El modelado 3D de los dispositivos de seguridad se han obtenido de la web del fabricante.

Web: partcommunity. [Enlace](#).

Posteriormente se ha procedido a la colocación de cada dispositivo anclado al vallado de seguridad además de dotarlo de color para su representación realista.

Mesa

El diseño de la mesa junto con sus especificaciones técnicas ha sido realizado por la estudiante de arquitectura Verónica Montoro de la Universidad de Ávila.

4 BIBLIOGRAFÍA

Sobre la normativa de seguridad:

<https://www.pilz.com/es-ES/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>

http://www.infoplcn.net/files/documentacion/seguridad_normativa/infoPLC_net_Seguridad_Maquina_SEiS_Maquinaría.pdf

<https://www.pilz.com/es-ES/knowhow/law-standards-norms/iso-standards/mechanic-construction/en-iso-12100>

<https://www.pilz.com/es-ES/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>

Sobre cada Real Decreto:

<https://www.boe.es/boe/dias/2008/10/11/pdfs/A40995-41030.pdf>

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/1997/1215_97/PDFs/realdecreto12151997de18dejulioporelqueseestablecenlas.pdf

Sobre los Dispositivos de seguridad:

<https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/dispositivos-de-seguridad>

<http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=2TLC010001C0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

- Controlador Pluto: <https://new.abb.com/products/2TLA020070R4700/pluto-s20-v2>
- Pulsadores de Reset: <https://new.abb.com/products/2TLA030053R0100/smile-11-rb-reset-button-pluto-with-m12-male>
- Pulsadores de emergencia: <https://new.abb.com/products/2TLA030050R0000/smile-11-ea-tina>
- Bloque de conexiones: <https://new.abb.com/products/2TLA020054R0300/tina-4a-connection-block-4-dynlink-m12-5>
- Cortina fotoeléctrica: <https://new.abb.com/products/2TLA022302R0400/orion1-4-30-075-b-transmitter-receiver>
- Cerradura de seguridad: <https://new.abb.com/products/en/2TLA020105R5000/knox-1a-r-v2-outward-open-hings-to-right>
- Relés enchufables: <https://new.abb.com/products/1SVR405611R1100/cr-m024dc2l-pluggable-interface-relay-2c-o-a1-a2-24vdc-250v-12a-led>

Sobre SafeCAD:

<https://new.abb.com/low-voltage/products/safety-products/fencing-systems/quick-guard>

Sobre Pluto Manager

<https://new.abb.com/low-voltage/products/safety-products/programmable-safety-controllers/pluto>

